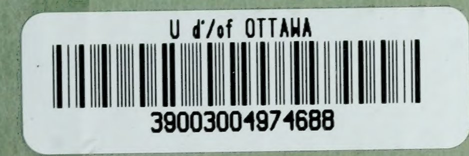
GALILEE









GALILÉE

MÊME COLLECTION

Alfaric (P.). — **Aristote** (*337*)............... 1 vol.

Beaupin (Eugène). — **Les Idées morales d'Homère** (*490*)...................................... 1 vol.

Beurlier (Eugène), Agrégé de l'Université. — **Kant** (*236*)...................................... 1 vol.

Du même auteur. — **Fichte** (*332*)............. 1 vol.

Calvet (Jean), Agrégé de l'Université. — **Les Idées morales de Mme de Sévigné.** 2 vol. (*416-417*). Prix : **1** fr. **20**

Chantillon (Georges). — **Socrate** (*462*)...... 1 vol.

Degert (A.), Docteur ès lettres. — **Les Idées morales de Cicéron** (*415*)........................ 1 vol.

Dufréchou (Alfred). — **Gobineau** (*412*)...... 1 vol.

Du même auteur. — **Les Idées morales de Sophocle** (*414*).. 1 vol.

Giraud (Victor), Professeur à l'Université de Fribourg. — **Les Idées morales d'Horace** (*451*).......... 1 vol.

Leclère (Albert), Professeur à l'Université de Fribourg (Suisse). — **La Philosophie grecque avant Socrate** (*480-481*). 2 vol...................... Prix : **1** fr. **20**

Lengrand (Henri). — **Epicure et l'Epicurisme** (*389*). 1 vol.

Mentré (F.), Professeur à l'Ecole des Roches. — **Cournot** (*440*)....................................... 1 vol.

Salomon (Michel). — **H. Taine** (*210*).......... 1 vol.

Du même auteur. — **Auguste Comte,** sa vie et sa doctrine (*255*).. 1 vol.

Du même auteur. — **Th. Jouffroy** (*413*)....... 1 vol.

Souriau (Maurice), Professeur à l'Université de Caen. — **Les Idées morales de Victor Hugo** (*484*).. 1 vol.

Thouverez (Emile), Professeur à l'Université de Toulouse. — **Herbert Spencer** (*331*)............... 1 vol.

Du même auteur. — **Stuart Mill** (*362*)......... 1 vol.

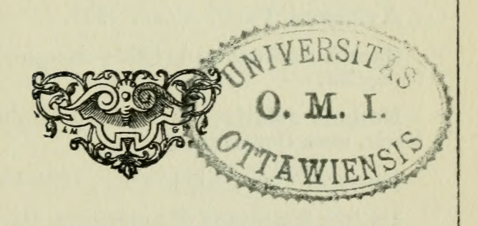
Du même auteur. — **Darwin** (*438-439*)... 2 vol. Prix.............................. **1** fr. **20**

PHILOSOPHES ET PENSEURS

GALILÉE

PAR

le Baron CARRA DE VAUX



PARIS
LIBRAIRIE BLOUD ET Cie
7, PLACE SAINT-SULPICE, 7
1908

DU MÊME AUTEUR

Les Mécaniques de Héron d'Alexandrie, édit. et trad. Paris, Imp. Nat. 1894, 2e édit. avec trad. allemande par le Dr Nix, avec la collaboration de M. Carra de Vaux, collection Teubner, 1900.

Les Pneumatiques de Philon de Byzance, édit. et trad. Collection des Notices et Extraits de l'Académie des Inscriptions et Belles-Lettres, 1902. — Cet ouvrage et le précédent sont couronnés par la Société des Etudes grecques.

Le Mahométisme. Paris, Champion, 1897.

Avicenne. Paris, Alcan, 1900.

Gazali. Paris, Alcan, 1902 ; couronné par l'Académie française.

Notions relatives à la Philosophie des Sciences. Paris, chez Hermann, 1896.

Etrusca. Paris, Klincksieck, 1904-1908.

Petites Religions d'Amérique. Paris, Bloud, 3e édit.

Newton. Paris, Bloud.

Leibniz. Paris, Bloud, 3e édition.

BIOGRAPHIE

Galileo Galilei naquit à Pise probablement le jour même où mourut à Rome Michel-Ange Buonarotti, 18 février 1564, car son acte de baptême porte la date du 19 février. Il était de famille noble mais peu fortunée, fils de Messer Vincenzio di Michelangelo Galilei, florentin, et de Madonna Giulia di Cosimo Ammanati, de Pescia.

Son père était versé dans les sciences mathématique et musicale ; on a de lui des traités sur l'harmonie. Il transmit à Galileo le goût de la musique, et lui apprit à jouer fort bien du luth.

La première enfance de Galilée s'écoula à Pise ; vers 1574, sa famille se transporta à Florence. Le jeune homme y reçut des leçons de philosophie d'un religieux de Vallombreuse ; il étudia aussi le dessin et la perspective. En 1581, son père le renvoya à Pise, pour y faire des études de médecine et de philosophie. Là son génie se révéla par ses observations sur le pendule. En philosophie la scolastique dominait ; le jeune homme s'y sentit, dès le début, contraire, et il commença dans la dispute à attaquer les opinions d'Aristote ; il apprit aussi à connaître Platon, qu'il aima beaucoup.

Galilée ne s'appliqua aux mathématiques qu'à l'âge de dix-neuf ans, et d'abord sous la direction d'Ostilio de Ricci, précepteur des pages du grand duc Francesco. Dès qu'il fut entré dans cette étude, il abandonna la médecine, quitta l'université de Pise et revint à Florence ; il y étudia Archimède et les autres mathématiciens grecs, et commença à y faire diverses inventions.

Vers 1587 il fit la connaissance par lettre d'un excellent mathématicien, le marquis Guidobaldo del Monte, qui demeurait à Pesaro et qui devint son protecteur. Il correspondit aussi avec plusieurs savants de l'Europe. Grâce à l'appui du marquis del Monte, il fut nommé en 1589 à la chaire de l'Université de Pise. Mais ses idées neuves, qu'il soutenait avec beaucoup de hardiesse, ne tardèrent pas à lui attirer l'hostilité de ses collègues. Sur ces entrefaites, son père mourut, ses sœurs restèrent à sa charge. Très malheureux, il quitta la Toscane et se rendit à

Venise, en 1592. On lui confia la chaire de mathématiques à l'Université de Padoue. C'est là qu'il développa son enseignement et ses doctrines, et qu'il fit ses fameuses découvertes astronomiques.

Ses leçons, tant publiques que privées, attirèrent de nombreux auditeurs ; il y commentait Euclide, le traité de la Sphère, l'Almageste de Ptolémée, les questions mécaniques d'Aristote ; il s'y occupait même de fortifications. Sa parole était chaude, abondante et claire. Parmi ses disciples d'alors, il faut citer Giovanfrancesco Sagredo et Filippo Salviati, qui figurent dans ses dialogues. Il avait dans sa demeure, au Borgo dei Vignali, un observatoire et un atelier ; des mécaniciens construisaient sous sa direction des instruments géométriques qu'il vendait.

Galilée, étant à Padoue, eut trois enfants, deux filles et un fils, de la vénitienne Marina Gamba.

Il quitta Padoue en 1610, pour Florence, où l'attirait Côme II de Médicis. Entre 1616 et 1633, il habita, sur la colline de Bellosguardo, au sud-ouest de la ville, une villa où résida plus tard le poète Hugo Foscolo, et qui porte aujourd'hui le nom de villa Zoubow. Il y composa son dialogue sur les deux systèmes du monde.

Galilée, en venant à Florence, avait pensé ne s'occuper plus que de l'avancement des sciences, et remplir un programme très vaste de recherches qu'il s'était tracé. Mais sa vie et son labeur furent troublés par le fameux procès qui, non moins que ses merveilleuses découvertes, continue d'attirer à sa mémoire l'intérêt et la curiosité du grand public.

Nous le résumerons plus loin.

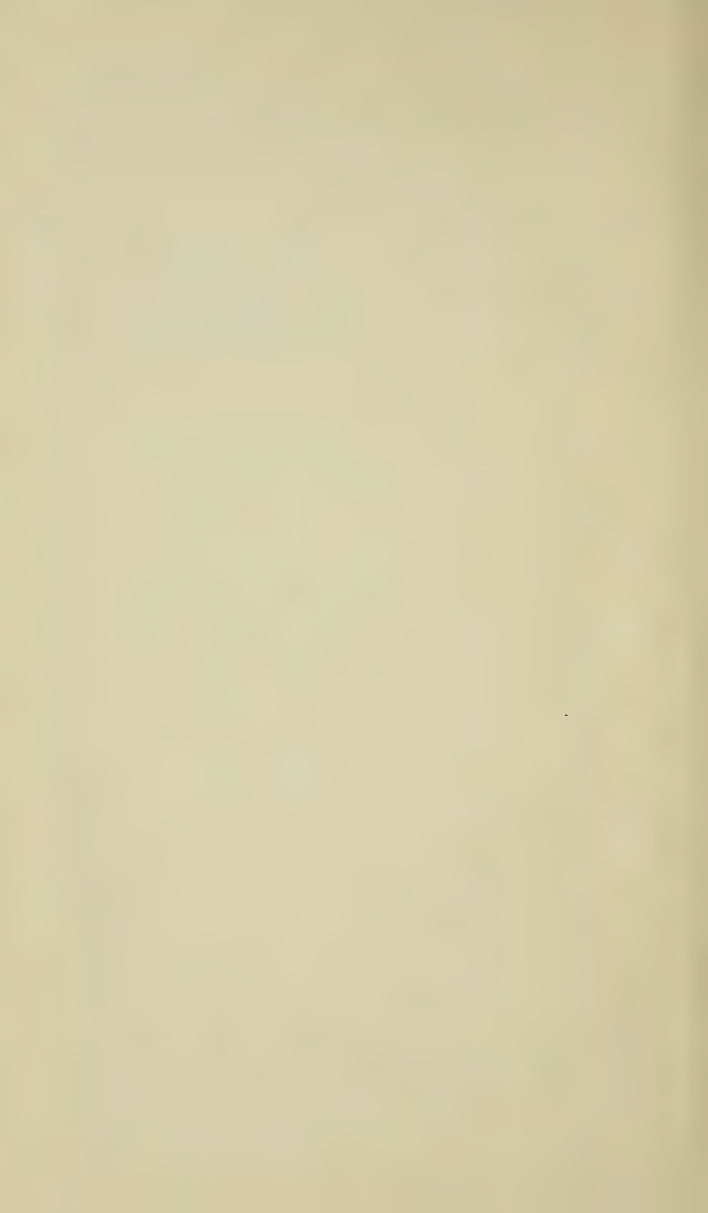
Etant déjà, de naissance, d'une mauvaise santé, Galilée fut en outre travaillé pendant plus de quarante-huit ans par un rhumatisme qu'il avait pris en se délassant, un jour d'été, avec deux amis, dans une chambre trop fraîche d'une villa des environs de Padoue. Sur la fin de sa vie, il devint tout à fait aveugle. Il mourut, entouré de l'affection de ses disciples Torricelli, Viviani, Gherardini, le 8 janvier 1642. Ces deux derniers ont écrit sa vie.

On visite, sur la colline d'Arcetri, près de Florence, une villa où Galilée, relégué par l'Inquisition, passa ses dix dernières années, et où il reçut la visite du poète Milton. Près de là est une vieille tour, Torre del Gallo, ayant appartenu aux Gibelins, du haut de laquelle Galilée fit ses observations. On y a groupé des souvenirs qui le concer-

nent, et l'on y voit son portrait par Sustermans. Sa sépulture est à Sainte-Croix de Florence.

Les correspondances du temps nous représentent ce savant, à la belle époque de sa vie, avec le visage grave, le front ample, le regard profond ; il avait des manières nobles ; son élocution était élégante, agréable et, quand il le fallait, vive et imagée.

Les œuvres de Galilée ont été publiées ensemble, pour la première fois, à Bologne en 1655. L'Italie contemporaine a élevé à ce grand homme un monument digne de lui, en réunissant dans une édition de luxe ses œuvres et sa correspondance ; la direction de ce travail a été confiée à M. Antonio Favaro.



GALILÉE

PREMIÈRE PARTIE

Mécanique et Physique.

I

La Statique.

1. — La statique de Galilée — on se souvient qu'on appelle statique la science de l'équilibre des systèmes — a été fort admirée. Ce n'est pas qu'en somme elle contienne de véritables découvertes. Les notions les plus intéressantes qu'elle renferme, celle des moments et celle des vitesses virtuelles, s'étaient déjà fait jour dans la science avant l'époque de notre auteur ; mais elles n'étaient pas encore bien nettement dégagées, et elles étaient obscurcies par des erreurs graves qui dominaient dans les écoles et chez les praticiens ; Galilée écarta ces erreurs, élucida ces notions. Il a traité de la statique dans son livre intitulé *De la science mé-*

canique, qu'il a écrit d'abord à l'usage de ses élèves, et qui ne fut publié qu'après sa mort, en 1649. Le P. Mersenne en avait donné auparavant une traduction française, d'après un manuscrit italien (1634). C'est un livre remarquable par sa clarté, par une analyse à la fois facile et pénétrante, et par l'art avec lequel les problèmes sont groupés et ramenés l'un à l'autre.

Il est au reste assez court. Il traite de ce que l'antiquité a appelé les machines simples, à savoir : le levier, la poulie, le treuil, la vis, le plan incliné, et aussi de la vis d'Archimède pour élever l'eau. Au début se trouvent des considérations importantes sur les services réels que peuvent rendre les machines. Au contraire de ce que croyaient alors certains ingénieurs, Galilée montre que les machines ne peuvent pas créer de la force ni multiplier celle dont on dispose, mais qu'elles servent seulement à en faciliter l'emploi : « Il y a, dit-il, des mécaniciens qui croient qu'on peut, avec une faible force, mouvoir et soulever de très grands poids... mais aucune résistance ne peut être surpassée que par une force qui lui est supérieure. » On, doit en effet, considérer quatre choses dans un travail mécanique : le poids à mouvoir, la puissance qui le meut, l'espace qu'on lui fait parcourir, et le temps employé à ce mouvement. Il faut, en fin de compte, toujours la même force pour conduire le même poids au même lieu ; une force moindre l'y conduira en plus de temps. « Ce que l'on acquiert en facilité, on le perd en espace, en temps, en lenteur. » Quelle sera alors l'utilité des machines ? Elles donneront le moyen d'utiliser commodément de petites forces, en évitant, par exemple de sectionner de gros poids pour les transporter en plusieurs voyages ; elles s'appliqueront aussi à l'exploitation des grandes forces, de celles des animaux, ou des forces naturelles comme les cours d'eaux.

Dans ces passages Galilée parle à un point de vue très pratique, et en pensant seulement au maniement des grands poids. La doctrine n'a pas encore la précision et la généralité qu'elle acquerra plus tard quand se sera dégagée la notion de masse.

2. *Le levier et le moment.* — La condition d'équilibre du levier simple ou de la balance était connue d'Aristote : les distances auxquelles sont suspendues les poids aux extrémités d'un fléau horizontal doivent être inversement proportionnelles aux deux bras du levier. Dans le cas du levier incliné ou de forme irrégulière, Héron d'Alexandrie avait bien expliqué qu'il fallait compter le bras de levier selon l'horizontale, Galilée connaît aussi ces vérités ; il fait en plus intervenir la considération des vitesses que prendraient les poids, si la balance venait à se mouvoir à partir d'une situation donnée.

Toute la théorie du levier consiste à se rendre compte de l'importance qu'ont les poids et les forces diverses selon le lieu où on les applique ; c'est ce qu'on appelle leur moment. Aujourd'hui le moment est le produit du poids par son bras de levier. Chez Galilée la notion du moment n'est pas encore aussi simple ni aussi géométrique ; elle est plus flottante, plus descriptive, mais aussi moins abstraite et plus proche de la nature : « Le moment [d'un poids], dit-il, dans la *mécanique,* est la propension à aller en bas, causée, non pas tant par la gravité du mobile que par la disposition que plusieurs mobiles ont entre eux. » Et définissant la même idée dans une autre circonstance au commencement du « discours sur les choses qui flottent sur l'eau », il dit : « Le moment, d'après les mécaniciens, signifie cette vertu, cette force, cette efficacité, par laquelle le moteur meut et le mobile résiste, laquelle vertu dépend non seulement de la simple gravité, mais de la vitesse du mouvement, des diverses inclinations des lignes suivant lesquelles il se fait, car un grave produit plus d'*impetus* quand il descend sur une ligne très déclive que sur une qui l'est moins ; et en somme, quelle que soit la cause d'une telle vertu, elle porte le nom de moment. »

Cette analyse n'est certes pas au point de précision qui permet une expression mathématique de l'idée. On y voit notamment s'y mêler la considération de la direction de la force, à celle de l'*impetus* qu'acquiert

le mobile dans le mouvement, et que l'on appellera plus tard force vive.

Néanmoins on sent là un désir très conscient et très louable, et qui sera fécond, de rechercher toutes les causes, autres que la grandeur propre de la force, qui peuvent donner à celle-ci son efficacité réelle dans chaque cas.

3. *Le plan incliné.* — Par cette considération de la tendance plus ou moins grande qu'a chaque force à agir selon les conditions où elle est placée, soit du moment ou de l'*impetus* de la force, Galilée est arrivé à la solution du problème de l'équilibre sur plan incliné. Le mécanicien belge, Simon Stevin (1548-1620), y arrivait vers le même temps par une autre voie que lui. Tous deux avaient été précédés au XIII[e] siècle par un mécanicien de l'école de Jordanus de Nemore, dont le nom n'a pas été conservé, et que M. Duhem a appelé « le précurseur de Léonard de Vinci ». L'antiquité n'avait pas possédé la solution du problème. Galilée critique dans ses Mécaniques un essai de Pappus sur ce sujet ; après quoi il propose lui-même cette ingénieuse analogie :

Soit un poids placé sur un cercle ; quand il est à l'extrémité C du diamètre horizontal, il fait équilibre à un poids égal situé de l'autre côté en A. Inclinons la ligne B C selon B F, l'équilibre sera rompu. Le moment du poids sera le même que s'il était suspendu en K à la verticale K F ; ce moment sera « d'autant diminué par rapport au moment du poids A, que B K est diminué par rapport à A B. » La réduction continuerait si l'on descendait encore le point F. Or on peut d'abord supposer qu'au lieu d'être porté à l'extrémité du diamètre, le poids soit posé sur la circonférence. Ensuite on remarquera que dans le premier instant de sa descente à partir de chaque position, le mobile se meut comme s'il était sur le plan incliné tangent au cercle en cet endroit. Donc, sur le plan incliné F H, « le moment du mobile diminue par rapport à son *impetus* total, qu'il aurait sur la verticale, dans la proportion de K B à B C. »

Au moyen d'une simple proportion, cette belle analyse, qui a établi l'analogie et le passage entre le levier

Fig. 1.

et le plan incliné, conduit à la formule propre à ce dernier : Le corps placé sur le plan incliné A C, a son

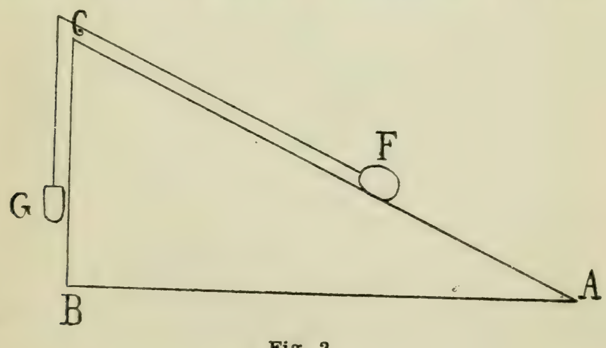


Fig. 2.

moment, sa propension à tomber, diminué dans le rapport de la hauteur du plan à sa longueur, de B C à A C. Deux poids F et G suspendus par un fil de part et d'autre du plan incliné, se feront équilibre s'ils sont en raison directe de la longueur et de la hauteur du plan.

Dans le troisième dialogue, sur la chute des corps, Galilée parlant encore du plan incliné, rend bien sensible cette idée de la propension au mouvement, *impetus, momento del descendere,* en lui opposant la résistance : « *l'impetus* est le contraire de la résistance minima qu'il faudrait appliquer au corps qui va descendre pour le retenir. »

Cette considération des vitesses que prendraient les corps s'ils se mouvaient à partir d'une situation donnée, dont nous voyons notre physicien faire à l'occasion du plan incliné un si heureux usage, est restée célèbre dans la science, sous le nom de principe des vitesses virtuelles. Il est juste de signaler, que, avant Galilée, son ami et protecteur le marquis Guidobaldo del Monte, l'avait appliquée au levier et au moufle.

4. *Les centres de gravité.* — Il faut distinguer la définition du centre de gravité en général, et la recherche particulière de ce centre dans chaque figure géométrique. En ce qui concerne la définition générale du centre de gravité, Galilée l'a assez bien expliquée au moyen de la notion du moment : « C'est, dit-il, dans chaque corps grave, le point autour duquel se trouvent disposées des parties d'égal moment, en sorte que si l'on imagine le corps suspendu par ce point, les parties situées de part et d'autre se font équilibre. » C'est sur ce centre qu'agit la force de la pesanteur ; il va droit au bas quand le corps tombe.

« Tout corps grave gravite sur son centre de gravité qui est le siège où se ramasse tout impetus, tout poids et tout mouvement. »

Cette conception très vive d'un lieu dans chaque corps ou dans chaque système de corps, sur lequel vient s'exercer l'action de la pesanteur, contient déjà en elle-même le principe de statique qui porte le nom de Torricelli.

On peut l'énoncer ainsi : lorsque deux poids liés ensemble sont placés de telle sorte que leur centre de gravité ne puisse pas descendre, ils sont en équilibre. Galilée connut fort bien ce principe : il enseigne qu'il est impossible qu'un grave ou un ensemble de graves se meuve de lui-même sans s'écarter du centre commun des graves ; ils ne peuvent se mouvoir que si leur centre de gravité se rapproche de ce centre commun ; autrement le moment ou l'*impetus* du système, relatif à la pesanteur, est nul.

Telle est la doctrine qui fut clairement exprimée par notre savant dans une lettre au Père Castelli datée de 1639, mais qui ne fut publiée qu'en 1655. Torricelli la publia plus tôt, en 1644, la dégagea, lui donna en statique une grande importance. Aussi lui rapporta-t-on tout l'honneur dont une part serait dû à son maître.

Quant à la recherche géométrique des centres de gravité, elle occupa un peu Galilée, mais il ne fit pas sur ce point de découverte. L'appendice placé au quatrième discours sur la façon de trouver les centres de diverses figures, témoigne seulement de son talent de géomètre, et est un exemple d'une certaine méthode de sectionnement des figures qui précéda le calcul intégral. Mais un auteur hautement loué par Galilée lui-même, Luca Valerio (1552-1618), avait, après Commandinus et Maurolycus, étudié ces questions, et publié en 1604 trois livres *De centro gravitatis solidorum*. On peut croire que Galilée, après avoir vu le livre de Valerio, abandonna ce sujet dont il s'était occupé d'abord à la demande du marquis del Monte. En Suisse et en France ces questions étaient traitées vers le même temps par Guldin et par Fermat.

II

Les lois de la chute des corps.

1. — Le plus beau titre de gloire de Galilée en mécanique est d'avoir déterminé les lois de la chute des

corps. Cette découverte n'eut pas seulement une portée scientifique ; elle accomplit une révolution philosophique ; elle renversa l'ancienne physique péripatéticienne, qui était alors enseignée dans les écoles ; elle substitua à l'autorité d'Aristote celle de l'observation et de l'expérience ; elle renouvela, en les mettant d'accord avec les faits, les conceptions que l'on avait de la matière et du monde.

Les principes de cette ancienne physique étaient, ainsi qu'on s'en souvient, que les corps se divisaient en graves et en légers, les légers tendant en haut et les graves en bas ; que les corps tombaient plus ou moins vite selon qu'ils étaient plus ou moins lourds ; qu'il y avait des mouvements naturels et des mouvements violents ; que le mouvement circulaire, par exemple, était naturel aux astres ; et que l'air déplacé aidait au mouvement des corps.

Galilée sentit très vite et comme d'instinct toutes les erreurs de cette philosophie physique ; il ne tarda pas à les contaster par de bonnes expériences. Sa doctrine, celle de la science moderne, fut consignée d'abord dans des discours sur le mouvement des graves, *Sermones de motu gravium,* qui ne furent publiés, en partie, qu'en 1854, par Albéri. Cette œuvre date de la jeunesse de Galilée, de l'époque où il était encore à Pise. Plus tard le savant reprit le même sujet et le développa avec une complète maîtrise dans ses « dialogues sur deux sciences nouvelles », *Discorsi e dimostrationi matematiche, intorno à due nuove scienze, attenenti alla mecanica, e i movimenti locali,* qui parurent en 1638. Ces dialogues sont divisés en quatre journées. Les deux sciences nouvelles dont il est question sont celles de la résistance et de la cohérence des matériaux, à laquelle sont consacrés les deux premiers, et celle du « mouvement local » à laquelle sont réservés les deux suivants ; en fait le troisième traite des lois de la chute des corps, et le quatrième du problème balistique. Le mot de mouvement local, qui appartient à Aristote, avait été employé par Léonard de Vinci ; on le retrouve encore chez Leibniz. La science du mouvement local n'est

autre que celle qu'on appelle aujourd'hui la dynamique ; et Galilée en est le fondateur.

2. *Les lois de la chute des corps.* — La première de ces lois est que tous les corps tombent également vite. Elle avait été entrevue par Giovanni Battista Benedetti (1530-1590) et par quelques autres savants ; mais l'enseignement officiel avait étouffé la vérité. Galilée la proclama dans sa chaire de Pise, et il la manifesta aux regards des maîtres, des philosophes et des étudiants de cette ville, en faisant, ainsi que le raconte Viviani, des expériences du haut de la tour penchée.

L'autre loi est celle qui définit la quantité dont s'accroît ou s'accélère la vitesse tandis que le corps tombe. On n'avait pas été sans remarquer, avant l'époque de Galilée, que le mouvement des corps qui tombent est accéléré ; mais on ne s'était pas occupé de rechercher suivant quelle proportion se produit l'accélération. C'est la question que se posa Galilée. Il hésita longtemps entre les deux opinions les plus simples qui s'offraient à lui : la vitesse est proportionnelle à l'espace parcouru ou elle est proportionnelle au temps. Il ne cache pas qu'il fut fort séduit par l'opinion fausse ; l'expérience décida en faveur de la proportionnalité de la vitesse au temps.

Cette expérience était difficile à réaliser. Notre physicien paraît avoir songé à utiliser les traces imprimées dans une matière molle par un corps qui tombe ; suivant que le corps tombe de plus ou moins haut, la percussion est plus ou moins forte et la trace plus ou moins profonde. Mais il n'était guère possible d'obtenir par ce moyen une mesure exacte.

Les difficultés furent tournées par l'emploi du plan incliné. Au milieu d'une planche ou règle de bois longue d'environ douze brasses, large d'une demi-brasse, on creusait une rainure bien droite et bien polie dans laquelle on faisait descendre une bille de bronze. D'un côté la planche était relevée d'une brasse ou deux. On laissait d'abord courir la bille jusqu'au bout, et on notait le temps de la descente. L'expérience était répétée plusieurs fois pour chaque inclinaison ; le temps,

dit Galilée, ne variait pas même de la dixième partie d'une pulsation. Après cela on arrêtait la bille au quart de la règle ; et l'on trouvait que le temps employé pour parcourir ce quart était la moitié de celui que la bille employait précédemment pour parcourir la règle entière. On répétait encore l'expérience en arrêtant la bille aux $\frac{2}{3}$, aux $\frac{3}{4}$ de la planche, et l'on concluait que les espaces parcourus pendant la descente, étaient entre eux comme les carrés des temps.

Pour mesurer le temps, l'expérimentateur plaçait sur un pied un seau plein d'eau, muni à sa partie inférieure d'un petit canal, par où s'écoulait un mince filet d'eau ; la quantité d'eau qui s'était écoulée pendant chaque expérience, était recueillie dans un verre et pesé dans une balance très précise ; le poids était proportionnel au temps.

Une telle série d'expériences donnait à Galilée la définition du mouvement uniformément accéléré ; c'est celui que nous représentons par la formule $v = g\ t$. Notre savant avait d'ailleurs montré (V. p. 13) comment se comportait l'*impetus*, l'impulsion due à la pesanteur sur un plan incliné : l'impetus selon la direction inclinée était égale à l'*impetus* le long de la verticale, projeté sur la direction du plan. Au moyen de cette égalité et de la définition précédente, Galilée établissait toute une série de théorèmes, démontrés par voie géométrique, sur les relations qu'il y a entre les hauteurs de chute, les temps, les vitesses acquises, dans la descente des graves, verticalement ou sur un plan incliné. Ces théorèmes, qui ne sont que les différentes manières de tourner et de retourner la formule, n'ont pas grand intérêt pour nous. On peut retenir pourtant celui-ci qui est élégant : Au bout d'un même temps des corps tombant ensemble d'un même point sous diverses inclinaisons se trouvent sur la circonférence d'un même cercle.

3. *L'inertie.*— Galilée énonce le principe de l'inertie, sous la forme de la conservation de la vitesse initiale, dans le préambule de son quatrième discours

consacré à la balistique. Ce passage qui renferme en outre le principe de la composition des mouvements, connu d'ailleurs avant Galilée, est très remarquable :

« Je conçois, dit notre auteur, un mobile mu sur un plan horizontal, sans obstacle ; il résulte de ce qui a été dit plus longuement ailleurs, que ce mobile aura un mouvement uniforme et perpétuel sur ce plan, si le plan s'étend à l'infini. Mais si nous concevons le plan limité et placé en haut, le mobile que je suppose doué de gravité, parvenant à la limite du plan et continuant à s'avancer, ajoutera à la première vitesse uniforme et indélébile, cette propension à tomber qu'il tient de sa propre gravité, d'où il résultera un certain mouvement composé du mouvement uniforme horizontal et de celui qui est naturellement accéléré vers le bas. »

Cet énoncé si net et si volontaire ne doit pas être considéré comme contenant précisément une révolution ; il est plutôt l'acte d'un esprit qui prend pleinement possession d'idées anciennes, les purifie et les combine d'une façon absolument précise. L'antiquité avait eu l'idée du mouvement qui se continue indéfiniment ; elle avait cru à la rotation naturelle, uniforme et éternelle des astres.

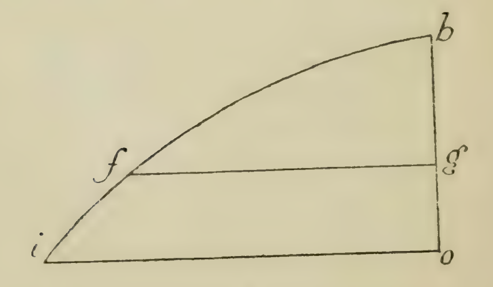
L'idée du mouvement rectiligne, uniforme et indéfini d'un corps lancé sur un plan horizontal, est simple et primitive aussi. Par une abstraction très heureuse, Galilée fait continuer ce mouvement dans l'espace vide quand le plan horizontal n'est plus là pour soutenir le corps, et que la pesanteur vient agir pour le détourner de sa route. Le mérite ici n'est donc pas d'avoir eu l'idée, mais de l'avoir conservée très vive, dans une circonstance difficile où elle pouvait s'obscurcir.

L'idée de l'inertie, telle qu'elle se présente chez Galilée, est bien distincte de celle qui apparaîtra plus tard dans la science, quand se sera dégagée la notion de la masse, et que l'on trouve notamment chez Leibniz : celle d'une certaine difficulté, d'une certaine lenteur des corps à se mettre en mouvement. Cependant on pourrait montrer que ces deux notions se

rejoignent. Elles se réunissent toutes deux dans cette formule, qu'il faut l'intervention d'une « force », pour changer l'état de repos ou de mouvement d'un corps.

4. *Le problème balistique.* — Galilée appliqua brillamment les principes que nous venons de lui voir poser, à la solution géométrique du problème balistique. Il montra, ce qu'aucun écolier n'ignore aujourd'hui, que la courbe décrite par un projectile, résultant de l'impulsion qui l'a lancée, et de la gravité qui le fait tomber, est une parabole. Des opinions assez étranges avaient eu cours antérieurement sur la nature de cette courbe ; on avait cru qu'elle n'apparaissait qu'à la fin du mouvement du projectile, quand celui-ci avait presque usé tout son *impetus,* mais qu'au début le projectile se mouvait en ligne droite.

Galilée n'avait pas les ressources de la géométrie analytique qui ont rendu ce problème fort simple ; mais il avait les travaux antiques d'Apollonius sur les coniques, qui suffisaient pour le résoudre. Il montra, d'après la loi de la chute, que le rapport de fg^2 à gb ou de io^2 à ob est constant ; c'est-à-dire que les hauteurs à partir du point maximum où monte le projectile, sont comme les carrés des distances à la verticale de ce point. Cette propriété convenait à une parabole dont la verticale était l'axe.



III

Le pendule et le thermoscope.

1. *Le pendule.* — C'est vers 1582 que Galilée, âgé d'environ 18 ans, remarqua le balancement régulier d'une lampe suspendue au dôme de Pise. En comptant les battements de son pouls, tandis que la lampe oscillait, il constata que les petites oscillations s'accomplissaient dans des temps sensiblement égaux quelle que fût leur amplitude. Cette découverte, qui est celle du « pendule », est, avec la lunette, celle qui a assuré le plus de popularité à sa mémoire. On montre encore à la cathédrale de Pise une lampe que la tradition croit être celle dont Galilée compta les oscillations. C'est une belle œuvre d'art : quatre enfants posés sur un cercle en soutiennent un autre que surmontent des volutes ; des flambeaux sont disposés autour des cercles.

Galilée qui, à ce moment-là, étudiait la médecine, après avoir eu l'idée ingénieuse de mesurer les battements du pendule par le pouls, eut l'idée inverse : de se servir du pendule pour mesurer la fréquence des pulsations ; un appareil construit pour cet usage, était encore employé par les médecins à la fin du XVIIe siècle. Vers la fin de sa vie, notre savant revint à l'étude du pendule, et il chercha à l'appliquer soit aux expériences sur la chute des corps, soit aux observations astronomiques. On sait peu de chose sur ces essais.

Huyghens vers 1658 fit porter ses fruits à la découverte de Galilée. Il fonda la théorie mathématique du pendule, l'une des plus belles de la science, et cons-

truisit l'horloge, où le pendule ne fonctionne plus comme moteur, mais comme régulateur. Graham et Ellicot, horlogers de Londres, Leroy, horloger de Paris, perfectionnèrent l'œuvre de Huyghens. Quant à la différence de longueur du pendule qui bat la seconde, selon les lieux, le savant anglais Hooke prétendit l'avoir constatée le premier en 1660.

2. *Le thermoscope.* — Les mécaniciens de l'antiquité ont su que l'air échauffé se dilatait, et ils ont construit des appareils où cette dilatation était mise en jeu ; c'était soit des ballons pleins d'air d'où l'air s'échappait quand on l'exposait au soleil, comme dans Philon, soit des ballons à demi remplis d'eau et ayant à la partie supérieure de l'air, — comme dans Héron, — où l'air chassait l'eau à travers un siphon, quand il était échauffé.

Galilée, d'après Viviani, construisit un instrument fondé sur le même principe. L'air contenu dans un ballon, s'il se refroidissait, se resserrait, et l'on voyait monter dans le ballon de l'eau, ou du vin, provenant d'un vase communiquant, qui venait occuper la place laissée par l'air raréfié ; si au contraire l'air s'échauffait, l'eau ou le vin descendait. Bacon parle dans son *novum organum* d'un appareil qui ressemble à celui de Galilée, et qu'il appelle *Vitra calendaria.*

Selon Viviani, l'invention du thermoscope par Galilée remonterait environ à l'année 1597. Outre le témoignage de Viviani, on possède à ce sujet quelques lettres échangées entre notre savant et son disciple Sagredo, qui s'occupait de la construction d'appareils analogues. L'instrument de Galilée était encore bien imparfait ; mais l'idée de chercher à mesurer la température avec précision, et en quelque sorte d'une façon objective, car auparavant cette mesure ne dépendait que de nos sens, cette idée-là était très nette chez l'inventeur, et elle était nouvelle.

3. *La petite balance.* — La *bilancia* ou *bilancetta* est un instrument destiné à mesurer la proportion de deux métaux contenus dans un alliage. Galilée le conçut à l'imitation de ce qu'avait fait Archimède

dans le problème de la couronne de Hiéron ; la mesure se faisait par la considération du poids apparent que perd chaque métal lorsqu'il est plongé dans l'eau.

« Considérons, dit notre savant, que nous mettions dans l'eau une masse d'or. Si cette masse était d'eau, elle ne pèserait rien, car l'eau dans l'eau ne se meut pas en haut ni en bas. Donc la masse d'or pèsera dans l'eau seulement le surplus de la gravité de l'or sur celle de l'eau. » Avec divers métaux, cette perte de poids différera, et c'est ce qui permettra de reconnaître par exemple la quantité d'argent mêlée à l'or.

L'appareil est constitué par une règle ou un fléau d'au moins une brasse de longueur, — il sera d'autant plus sensible que ce fléau sera plus long, — au milieu duquel est un index vertical. D'un côté est le métal à essayer, de l'autre un contrepoids qui a exactement le poids de ce métal. Quand on plonge celui-ci dans l'eau, le contrepoids restant dans l'air, il perd de sa gravité et le contrepoids l'emporte. Pour ramener l'index à la position verticale, il faut rapprocher le contrepoids du centre du fléau, comme dans la balance romaine. Un objet tout en or fera amener le contrepoids à tel point ; tout en argent, il l'amènera à un autre point plus voisin du centre ; s'il est en alliage, le contrepoids se fixera entre les deux, et le rapport dans lequel il divisera cet intervalle compris entre les deux premiers points indiquera la proportion de l'alliage.

La graduation est établie au moyen de fils très fins d'acier et de laiton, enroulés alternativement, dix par dix, sur le fléau.

4. Les trois instruments dont nous venons de parler, avaient pour but la mesure. Il est intéressant de noter que ces inventions de Galilée donnèrent à un savant vénitien, Tite-Live Burattini (1615-1682), l'idée d'une « mesure universelle ». Le système de Burattini, véritable antécédent du système métrique, comprenait : une unité de temps, qui était la seconde, une unité de longueur, appelée déjà le mètre, à savoir la longueur du pendule qui bat la seconde, et une unité de poids constituée par un vase en forme de cube, dont le côté

était une certaine division du mètre, et qu'on remplissait d'eau de pluie du printemps.

IV

Travaux accessoires en physique.

Nous parlerons, dans cette section, de divers sujets dans lesquels Galilée n'eut pas le bonheur ou le moyen — étant donnée l'imperfection de la science en son temps, — de réaliser de véritables découvertes, mais qu'il étudia avec goût, dont il traita avec entrain et sur lesquels il émit des idées qui purent promouvoir les découvertes ultérieures. Ces sujets sont : la résistance des matériaux, la cohésion de la matière, la pesanteur de l'air, la capillarité, on pourrait ajouter le magnétisme. Plusieurs des questions qui embarrassaient Galilée ont été après lui résolues de façon simple et définitive ; c'est ce qui est arrivé pour la pesanteur de l'air ; sur ce point il nous paraît primitif. Mais nous n'avons pas sujet de nous enorgueillir quand nous l'entendons parler de tel autre problème, comme celui de la cohésion des corps solides, auquel la science moderne n'a pas encore été capable d'apporter une réponse vraiment topique et adéquate, à la fois satisfaisante pour les philosophes et susceptible d'être vulgarisée.

1. *La résistance des matériaux.* — Notre physicien s'est occupé, du mieux qu'il a pu, de la résistance des matériaux. Il en a parlé dans le second dialogue et au commencement du premier. Son point de vue est tantôt celui d'un philosophe, tantôt celui d'un praticien, ingénieur ou architecte. Beaucoup des questions qu'il pose sont d'ordre pratique ; par exemple une poutre est encastrée dans un mur ; déterminer la variation du

poids qui la rompra, suivant que l'on suspendra ce poids à la poutre plus ou moins loin du mur. Du même ordre sont des observations telles que celle-ci, qui est consignée au premier dialogue : une grosse colonne avait été couchée sur deux poutres, qui lui servaient d'appui à ses deux extrémités ; un ingénieur eut ensuite l'idée, pour être plus sûr que la colonne ne se romprait pas, d'ajouter un appui semblable en son milieu. Le contraire de ce qu'il avait prévu arriva : quelques mois plus tard, on trouva la colonne cassée juste sur le point d'appui médian. Une des poutres avait pourri et s'était affaiblie ; et la colonne, empêchée de suivre son tassement par la poutre neuve, s'était brisée sous son propre poids.

Une observation d'ordre plus théorique et sur laquelle Galilée revient plusieurs fois, est que les grands corps sont proportionnellement moins résistants que les petits. L'art et la nature même, explique-t-il, ne peuvent pas accroître indéfiniment la dimension de leurs machines ; on ne peut fabriquer des navires, des temples, des palais prodigieusement grands, car les rames, les mâts, les poutres se rompraient : la nature ne fait pas croître des arbres d'une grandeur démesurée, parce que les branches trop lourdes finiraient par se briser ; il n'existe pas d'animaux monstrueusement grands, parce que la résistance des os ne serait plus suffisante. — Cette remarque explique pourquoi les formes des êtres changent, quand on passe du grand au petit.

2. *La cohésion.* — Galilée distingue dans les corps ceux qui ont une texture fibreuse ou filamenteuse et ceux où les atomes tiennent entre eux par une sorte de colle ou de gluten. Il considère par exemple un prisme vertical, fixé en haut et portant un poids à sa partie inférieure. Cette donnée lui suggère, entre autres, les réflexions suivantes, qu'il met dans la bouche de Salviati : « Il est manifeste que, quelle que soit la ténacité ou la cohérence des parties de ce solide, du moment qu'elle n'est pas infinie, elle pourra être surpassée par la force du poids qui tire, dont je suppose que la

gravité peut être accrue autant qu'il nous plaît ; et à la fin ce solide se cassera à la façon d'une corde. Et, de même que, pour la corde, nous pouvons imaginer que sa résistance dérive de la multitude des fils de chanvre qui la composent, de même dans le bois, on aperçoit des fibres et filaments tendus tout du long qui lui donnent plus de résistance à la rupture que n'en aurait une corde de même grosseur. Mais, dans les cylindres de pierre ou de métal, la cohérence entre les parties, qui paraît encore plus grande, dépend de quelque autre agglutinant que de filaments et de fibres ; et pourtant eux aussi se rompent par une forte traction. » — Les fibres de la corde, il est vrai, ne s'étendent pas tout du long ; il faut donc quelque chose qui les fasse adhérer entre elles. — Cette cause d'adhérence, pour la corde, peut être la compression ; mais dans les cas des corps non fibreux, c'est encore là une explication qui n'est pas de mise.

3. *L'horreur du vide.* — C'est ici qu'intervient l'idée de l'horreur du vide. Salviati cherchant à définir les causes qui maintiennent l'adhérence entre les particules de ces corps non fibreux, dit qu'à son avis, elles se réduisent à deux chefs, dont « l'un est la répugnance bien connue qu'a la nature à admettre le vide » et cette répugnance se manifeste selon lui par des expériences évidentes : Si l'on prend deux plaques de marbre, de métal ou de verre parfaitement polies, qu'on les place l'une sur l'autre en les faisant glisser, celle de dessus étant soulevée portera celle de dessous, même si cette dernière est assez lourde ; et cela montre bien « l'horreur de la nature à admettre, même pour fort peu de temps, l'espace vide qui resterait dans l'intervalle entre les deux plaques, avant que l'air ambiant n'ait eu le temps de le remplir. »

Pour les corps solides, cependant, Salviati n'admet pas que cette horreur du vide suffise à en expliquer la cohérence ; cette cause, à elle seule, ne serait pas assez forte ; mais pour un liquide comme l'eau, que l'auteur du dialogue croit à tort n'avoir pas de cohésion propre, cette force du vide est la seule qui maintienne l'adhé-

rence entre les parties. Cette force est d'ailleurs limitée, et Salviati propose même des expériences pour la mesurer. Ces expériences ont peu d'intérêt. On voit dans tout ceci que cette prétendue force d'adhérence dérivant de l'horreur du vide n'est pas présentée dans le dialogue comme une conception neuve, mais, au contraire, comme une idée « bien connue ». Dans l'antiquité, Philon de Byzance s'était déjà servi de l'adhérence entre l'air et l'eau, pour expliquer l'entraînement de l'eau dans les siphons.

Salviati, continuant à discourir, essaie de montrer que cette force du vide est celle qui élève l'eau dans les pompes ; elle maintient l'adhérence entre le piston et l'eau. Elle est d'ailleurs limitée, avons-nous dit : quand elle est contre-balancée par le poids de la colonne d'eau soulevée, elle devient impuissante à l'entraîner davantage et l'eau cesse de monter. « Ni par des pompes, ni par d'autres machines qui soulèvent l'eau par attraction, il n'est possible de la faire monter d'un cheveu au-dessus de 18 brasses, que les pompes soient larges ou étroites ; ceci est la mesure limite de son élévation. » Cette limite était en effet connue de tous les spécialistes à l'époque de Galilée. En 1615, le maître fontainier, Salomon de Caus, disait : « Quand on veut forcer l'eau à monter plus haut que la nature de la machine ne souffre, l'air entrera à travers l'eau... » pour remplir le vide qui se formerait entre l'eau et le piston.

On sait comment cette erreur, restée fameuse dans l'histoire de la science, de la répugnance au vide, se dissipa quand furent faites les expériences précises sur la pesanteur de l'air.

4. *La pesanteur de l'air.* — Bien que les scolastiques aient été habitués à considérer l'air comme un corps léger, et par conséquent non pesant, il semble qu'Aristote ait cru à sa pesanteur. C'est du moins ce qui résulte d'un passage du *De Cœlo* (l. IV, ch. IV), où il dit qu'une outre pèse davantage lorsqu'elle est gonflée d'air que lorsqu'elle est vide. Il est cependant difficile de croire qu'une expérience de ce genre ait pu être faite d'une façon précise au temps d'Aristote.

Quoi qu'il en soit, Galilée, qui n'avait pas songé à se servir de la pesanteur de l'air pour expliquer l'ascension de l'eau dans les pompes, malgré la proposition que lui en fit le savant Baliani en 1630, crut toujours que l'air était pesant. Il eut le mérite de chercher à déterminer son poids, bien que les expériences qu'il ait tentées à ce sujet soient demeurées fort imparfaites.

Galilée prenait, — il le raconte dans le premier dialogue, — un ballon plein d'air, dans lequel il refoulait encore un supplément d'air au moyen d'une seringue. Il pesait le ballon avant cette compression, ensuite avec l'air ainsi comprimé ; puis il l'ouvrait, et l'excès d'air s'échappait, par un tuyau dans un flacon plein d'eau, dont il chassait une partie. Cette partie était pesée ; elle représentait le poids d'un volume d'eau égal au volume d'air issu du ballon. Le poids de ce dernier étant connu, on en concluait la gravité spécifique de l'air, que Galilée dit être quatre cents fois plus faible que celle de l'eau. Il aurait fallu trouver 773 fois.

On n'eût pas obtenu un résultat meilleur en partant d'une idée puisée dans Aristote et sur laquelle disputent les interlocuteurs du premier dialogue : que la résistance du milieu dépend d'une façon simple de son poids spécifique, et que pour connaître les poids relatifs de l'eau et de l'air, il suffirait de mesurer le rapport des vitesses d'un même mobile tombant successivement dans ces deux milieux. Le milanais Cardan avait proposé la même méthode.

C'est en juin 1644 que Torricelli, réalisa l'expérience du tube barométrique, qu'il expliqua dès le début par la poussée de l'air externe sur le vif argent, comme Baliani avait expliqué la pompe par la poussée de l'air sur l'eau. En 1648, Pascal, suivant, peut-on croire, les suggestions de Mersenne, résolvait définitivement le problème de la pesanteur de l'air par l'expérience du Puy-de-Dôme.

5. *Hydrostatique*. — Galilée rendit à la science en hydrostatique le même service qu'il lui avait rendu dans d'autres parties de la statique : d'écarter des erreurs, et de remettre en vigueur des vérités connues

dès l'âge antique. Le fameux principe d'Archimède, selon lequel tout volume d'un corps plongé dans l'eau perd une partie de son poids, égale au poids du même volume d'eau, ce principe était contesté par les péripatéticiens. Ceux-ci expliquaient par les qualités absolues de lourd ou de léger, la disposition des corps à flotter sur l'eau ou à s'y enfoncer ; ils n'admettaient pas que cette disposition dépendît simplement du poids relatif des corps par rapport à l'eau. Galilée soutint la saine doctrine dans son long discours intitulé : *Discorso intorno alle cose che stanno su l'Acqua, o che in quella se muovono*. Malheureusement il fit porter une grande partie de la discussion sur certains faits d'un ordre spécial, qui se produisent lorsque des corps d'assez petite dimension, mais de poids relatif assez grand, se trouvent soutenus sur l'eau ; ainsi une petite lame métallique posée bien horizontalement et avec soin sur la surface du liquide, peut s'y maintenir assez longtemps. Ce genre de questions qui dépendent de la théorie des tensions superficielles, seraient encore difficiles de nos jours et n'étaient pas solubles au temps de Galilée. Celui-ci croyait à l'adhérence de l'air comme cause principale de la flottaison de ces petits corps. Le discours de Galilée fut attaqué, sur ce point et sur d'autres, par Ludovico delle Colombo et Vincentio di Gratia. Il fut défendu par le père Benedetto Castelli.

Au cours de ces recherches, notre physicien avait trouvé quelques expériences assez fines : il propose celle d'une balle de cire bien lisse qu'on alourdit d'un peu de plomb pour la rendre un peu plus dense que l'eau. Posée à la surface du liquide, elle s'y enfonce lentement, puis s'arrête, laissant seulement à son sommet un peu d'air, par lequel Galilée croit qu'elle est soutenue. On voit qu'il n'eut pas dans ces cas d'exception le même bonheur que dans la thèse générale.

V

Travaux accessoires en géométrie.

Nous avons pu apprécier le talent de Galilée comme géomètre à l'occasion des problèmes sur les centres de gravité et du problème balistique. Nous avons dit aussi qu'il s'était occupé de construire des instruments de géométrie. Il peut être convenable de donner ici l'exemple d'un de ces instruments qui, sans être bien intéressant pour nous, témoigne du moins des qualités pratiques de l'esprit de Galilée et qui rendit des services en son temps. Nous montrerons aussi par quelques citations comment notre savant disserta sur les questions d'infinitude.

1. *Le compas géométrique et militaire.* — Cet instrument est l'objet d'un assez long traité de Galilée. Il est en forme de compas ; c'est-à-dire qu'il se compose de deux règles plates et égales de cuivre, tournant dans leur plan autour d'un pivot commun. On le gradue, sur la face et sur le revers, au moyen de seize lignes obliques partant du pivot, symétriquement placées sur les deux règles. Les deux premières lignes, du côté intérieur du compas, sont dites lignes arithmétiques et divisées selon la suite naturelle des nombres ; les deux suivantes sont dites lignes géométriques, ou des surfaces, et portent les racines carrées ; les deux qui viennent ensuite portent les racines cubiques, et sont appelées lignes des solides ; les deux dernières portent les poids spécifiques des métaux. Sur le revers de l'instrument les quatre premières lignes portent les divisions du quadrant, celles du cercle ; les quatre autres sont relatives aux quadratures et aux cubatures.

On pouvait résoudre à l'aide de cet instrument un

grand nombre de questions ; en ayant recours aux diverses graduations selon la nature du problème. Ainsi on divisait une droite en parties égales avec les lignes arithmétiques, on trouvait la moyenne proportionnelle entre deux quantités, avec les géométriques ; on divisait un volume en parties égales avec celles des solides ; avec celles des métaux, on construisait, de métaux différents, des corps semblables de même poids. Les gradations du revers servaient, entre autres choses, à mesurer, ajouter, multiplier des arcs ; à trouver une droite égale à une circonférence de cercle ; à construire une figure d'espèce donnée, de même superficie qu'un cercle donné ; à trouver la distance entre deux points dont l'un est inaccessible, et à résoudre différents problèmes d'arpentage. Ces questions intéressaient les ingénieurs civils et militaires, et plusieurs d'entre elles avaient une importance spéciale pour les « bombardiers » qui sont les anciens artilleurs.

L'invention de cette espèce de règle à calcul fut pour Galilée l'occasion d'un procès. Notre savant, alors à Padoue, vendait ces compas et en enseignait l'usage aux acheteurs. Il initia de la sorte à leur mode d'emploi, un milanais, Aurelio Capra, et son fils Balthasar, venus à Padoue peu de temps après lui. Or, en 1607, Balthasar Capra publia un écrit sur un compas qu'il appelait « compas de proportion », et qui n'était autre que le compas géométrique de Galilée ; celui-ci se plaignit au tribunal des études à Venise, et fit condamner Capra ; il ajouta à cette vengeance une réponse très vive à son plagiaire, intitulée *Difesa contro alle calunnie e imposture di Baldassar Capra.*

2. *La notion d'infinitude.* — Galilée eut très nette la notion du fini qui résulte d'une accumulation illimitée d'infiniment petits. Ainsi dans le mouvement des corps lancés de bas en haut et prêts à s'arrêter, il considère que ces corps passent par tous les degrés de vitesse avant d'arriver à la vitesse nulle ; et il y a, dit-il, une infinité de ces degrés. Cependant ce passage ne dure qu'un temps fini, parce que le corps ne reste dans chaque degré qu'un seul instant.

Dans le même esprit il s'occupe du problème de la

roue d'Aristote. C'est une espèce de paradoxe qu'il s'agit d'expliquer. On considère des cercles concentriques dont le plus grand roule sur une droite, et se développe suivant cette droite ; les plus petits, entraînés, se développent aussi selon des droites de longueur égale à la première, et pourtant ils sont plus petits. Héron d'Alexandrie avait étudié cette modeste énigme qui n'est pas bien troublante quand on ajoute au mouvement de rotation un mouvement de glissement ; mais ce n'est pas ce point de vue qui intéresse Galilée.

Il remplace les cercles par des polygones réguliers concentriques dont le plus grand roule sur la droite ; les côtés de ce grand polygone viennent dans le développement se placer les uns à la suite des autres, sans laisser d'intervalle entre eux. Mais les polygones intérieurs se développent sur des droites parallèles à la première ; et, tandis que leurs côtés viennent reposer sur ces droites, ils laissent entre eux des intervalles de plus en plus grands à mesure que les polygones se

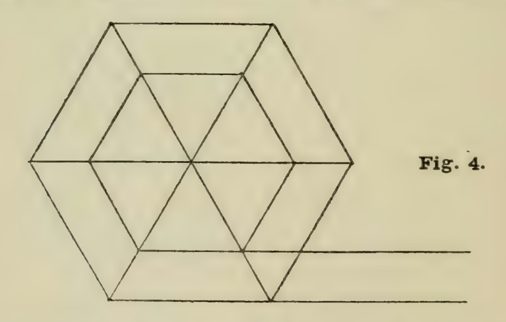


Fig. 4.

rapprochent du centre. Puis le géomètre considère des polygones de mille, cent mille côtés, et, à la limite, des cercles qui sont des polygones d'un nombre infini de côtés ; il constate que les cercles autres que le plus grand se développent en marquant sur les droites une infinité de parties pleines séparés par une infinité de parties vides.

Galilée continue ces spéculations en songeant à la

matière même des corps solides, qui pourrait se déployer en une infinité d'atomes infiniment petits séparés par une infinité de vides.

Tout cela n'amène pas à des conclusions bien précises ; mais de telles recherches exercent et aiguisent l'esprit, et préparent les découvertes.

DEUXIÈME PARTIE

Astronomie.

I

La Lunette.

1. *Les antécédents.* — Buffon et d'autres auteurs du XVIII[e] siècle, comme le comte de Caylus, ont cru que les anciens avaient possédé des appareils télescopiques. Cette opinion, émise à diverses reprises, n'a jamais été appuyée d'arguments bien solides. Th.-H. Martin l'a discutée dans un mémoire *sur les instruments d'optique faussement attribués aux anciens par quelques savants modernes.* Les anciens ont fait usage de tubes visuels, mais non munis de lentilles, et simplement destinés à arrêter la lumière diffuse. Aristote parle dans le *De Generatione animalium,* d'un tube, αὐλός, qui permet de voir de loin. Galilée remarque (*Dialogue sur les deux grands systèmes*) qu'il doit s'agir ici du même phénomène, par lequel il est possible de

voir en plein jour les étoiles du fond d'un puits. Les anciens ont connu les miroirs polis et métalliques ; mais ils n'ont pas connu les lentilles de verre. Plus sûrement encore, ils ont ignoré l'agencement méthodique de lentilles ou de miroirs dans un tube qui constitue le télescope.

D'après une légende, Ptolémée Evergète fit placer sur le phare d'Alexandrie un instrument qui permettait d'apercevoir les vaisseaux à cent lieues de distance. Cette légende antique reparut au XVIIe siècle. Le mécanicien italien Tite-Live Burattini, dans une lettre du 7 octobre 1672, raconte qu'il existait alors à Raguse un appareil télescopique, que la tradition faisait remonter à Archimède. Ç'aurait été une sorte de tambour ouvert dans lequel on apercevait l'image en regardant de côté, par réflexion sur un miroir incliné placé au fond du tube. Mais on ne peut se tenir assuré, par ce seul témoignage, de l'existence d'un semblable instrument.

2. *L'invention du télescope.* — Les lunettes simples avaient été inventées à la fin du XIIIe siècle ou au commencement du XIVe par Salvino degli Armati. Depuis lors plusieurs chercheurs eurent l'idée que l'on pourrait essayer des combinaisons de verres ; Girolamo Fracastoro, Lorenzo Digges, Jean-Baptiste della Porta entrevirent cette voie. Il est même probable que le célèbre archevêque de Spalato, de Dominis, a eu de bonne heure la conception nette du télescope ; mais il ne la réalisa pas.

Ce n'est que vers 1608 que la lunette d'approche commença à se répandre en Europe. La priorité de l'invention est disputée entre Zaccaria Jansen et Henri Lippersheim, de Middelbourg ; après eux seulement doit venir Jacob Metius d'Alkmaer, que Huyghens et Descartes ont mentionné comme l'inventeur du télescope.

Le *Mercure Français* annonça en ces termes l'appareil nouveau : « Cette invention est venue de Middelbourg en Zélande, où un lunetier pauvre homme fit présent d'une paire de lunettes qu'il a faites, au

prince Maurice [de Nassau] environ le mois de septembre de l'an dernier passé [1608], avec lesquelles on voit distinctement jusques à trois et quatre lieues au loin, comme si on était à cent pas près. » Le prince envoya l'instrument au Conseil des Etats, avec une lettre qui portait : « Par ces lunettes vous verrez les tromperies de votre ennemi. » L'année suivante, 1609, les lunettes se vendaient à Paris, d'après le *Mercure Français* qui les décrit ainsi : « Aux deux bouts d'un tuyau de fer-blanc rond et long d'un pied, il y a deux verreries. Pour regarder ce que l'on veut voir, on ferme un œil, et à l'autre, on en approche la lunette, avec laquelle on reconnaît une personne de demi-lieue. »

3. *La part de Galilée dans l'invention du télescope.* — Bien que Galilée n'ait pas été le premier à construire des lunettes, c'est son nom qui est resté a taché, dans la mémoire du public, à cette invention ; et cet honneur lui est assez justement dû tant en raison de la perfection des lunettes qu'il construisit, que de l'usage admirable qu'il en sut faire. Il a lui-même en trois endroits fait valoir ses titres en cette affaire, en se servant surtout de cet argument que les Hollandais avaient inventé le télescope par hasard, au lieu qu'il l'avait réinventé par le raisonnement : « Le Hollandais, premier inventeur du télescope, dit-il dans le *Saggiatore,* était un simple *maestro d'occhiali* (opticien) ordinaire qui, par hasard, en maniant des verres de plusieurs sortes, se trouva regarder en même temps à travers deux, l'un convexe et l'autre concave, placés à des distances différentes de l'œil, et de cette façon observa l'effet qui s'ensuivit, et trouva l'instrument. »

Il paraît exact que Galilée construisit son télescope sans avoir eu de modèle sous les yeux, et d'après une simple description, très brève, de la lunette hollandaise. Le raisonnement qu'il se vante d'avoir tenu pour réinventer l'appareil, n'est pas au reste bien difficile. L'artifice, se dit-il, ne pouvait être dû à un verre seul, puisque les verres concaves diminuent les objets, et que les convexes les grossissent, mais les troublent ; il ne pouvait provenir non plus de deux verres concaves

ou de deux convexes ; il fallait donc qu'il vînt de la combinaison de deux verres concave et convexe.

Il y a évidemment moins de mérite dans ce raisonnement, que dans la perfection que Galilée apporta à la construction de son instrument, perfection attestée par les témoignages contemporains et par le parti que lui-même en tira. Le premier télescope de Galilée date de 1609 ; il l'appela d'abord *cannochiale* ou simplement *occhiale*; le nom de *telescopio* qu'il adopta plus tard, est dû au prince Federico Cesi. C'est à Padoue que le savant construisit cette première lunette ; il en fit ensuite une autre plus parfaite, qu'il présenta à Venise à Sa Sérénissime Seigneurie et à tout le Sénat. On s'émerveilla ; on se divertit à regarder les vaisseaux, du plus haut campanile. Galilée fit hommage de la lunette au prince ; celui-ci le remercia en doublant son traitement.

Nous n'avons pas de description détaillée du télescope de Galilée. Le savant le définit sommairement dans son *Saggiatore* : il se composait de deux lentilles, l'une convexe ou plan convexe pour objectif, l'autre concave ou plan concave pour oculaire, placées aux extrémités d'un tube. Galilée n'avait pas une idée nette de la marche des rayons lumineux ; il savait seulement d'une façon générale que la lentille convexe réunit les rayons et que la lentille concave les disperse. Quant au grossissement qu'il pouvait obtenir avec le télescope qui lui servit à faire ses observations, on croit qu'il était d'une trentaine de diamètres.

II

Les découvertes astronomiques.

Dès que Galilée fut en possession de sa lunette, il la tourna vers le ciel ; et au lieu du ciel visible à nos yeux, il vit un ciel nouveau, celui de l'astronomie moderne,

succédant à celui de l'antiquité et de la scolastique. Il ne fut certes pas seul à faire des observations ; beaucoup de savants se hâtèrent d'appliquer aux mêmes recherches l'instrument nouvellement découvert ; mais Galilée, comme dit un correspondant, « a été le premier à monter à l'échelle, et c'est lui qui a remporté la couronne murale dans cet assaut vers le firmament. »

Notre savant annonça ses découvertes dans quelques lettres et dans le traité *Sydereus Nuntius,* en mars 1610. On peut les énumérer ainsi :

1. — D'abord le ciel apparut couvert d'innombrables *étoiles fixes,* qui se distinguèrent des planètes au télescope, parce qu'elles n'augmentèrent pas de volume, tandis que les planètes apparurent comme des petits disques, des « globules ronds » ou des « lunules » ; ces étoiles fixes étaient toujours entourées d'un rayonnement. Elles se montrèrent par dizaines entre les grosses étoiles visibles à l'œil nu, qui composaient les anciennes constellations ; on voit, dans le traité de Galilée, la carte ainsi accrue d'Orion et des Pléiades.

2. — La voie lactée, la *Galaxia,* qui avait été l'objet de tant de discussions entre les savants, et sur laquelle les poètes avaient forgé tant de fables, fut vue comme un innombrable amas d'étoiles, en quelque endroit qu'on dirigeât le télescope. D'autres nébuleuses furent résolues de la même manière, notamment celle d'Orion et la nébuleuse *Præsepe.*

3. — La *lune,* répondant à l'idée que se formaient d'elle les Pythagoriciens — selon Galilée lui-même, — se montra « comme une autre terre », avec sa surface pleine de cavités et de boursouflures, et ses taches obscures ou divers philosophes ont voulu voir des mers. Notre satellite était bien éclairé par le soleil ; il n'était pas ni lumineux par lui-même, ni de substance transparente, comme on avait pu le croire jusqu'au début du XVIIe siècle. Galilée examina les sommets de ses montagnes, qui apparaissaient un peu à l'intérieur du croissant comme des points lumineux émergeant de l'ombre. Il calcula leur hauteur qu'il trouva plus grande que celle des montagnes terrestres. Par l'examen des

sommets situés vers le bord extérieur du disque, il acquit peu à peu la connaissance de la libration. Il s'intéressa au phénomène de la lumière cendrée, qu'il appelle lumière secondaire ; c'est cette clarté faible qui paraît sur la lune quand elle est près de sa conjonction avec le soleil. Galilée l'explique dans sa troisième lettre sur *les Taches solaires,* 1612, par la réflexion des rayons solaires. Dans sa vieillesse, il écrivit sur le même sujet au prince de Toscane, à propos du livre *Liteosforo* de Fortunio Liceti.

4. — Le soleil ayant été observé dans une chambre noire, au moyen de son image formée par la lunette, et recueillie sur un écran, Galilée vit sur son disque des taches dont il suivit attentivement la rotation. Il constata qu'elles n'étaient pas dans l'atmosphère terrestre, qu'elles appartenaient bien au soleil, qu'elles tournaient avec lui et étaient situées sur sa surface même. Il écrivit sur cette question trois longues lettres, *delle macchie solari,* des taches solaires, auxquelles il joignit des dessins, représentant jour par jour les observations faites par lui en juin et juillet 1612. Cette même année une grosse tache fut visible à l'œil nu, du 19 au 21 août.

5. — La planète Vénus, quand elle est située sous le soleil, se montre en forme de croissant, comme la lune, *cornicolata.* Copernic avait prévu qu'il en devait être ainsi. Cette planète apparut beaucoup plus petite qu'on ne le croyait, présentant d'ailleurs de fortes différences de grosseurs suivant qu'elle était plus près ou plus loin. Elle n'était pas lumineuse par elle-même ; elle recevait la lumière du soleil, dont l'éclairage produisait sur elle des phases analogues à celles de la lune. L'argument tiré de cette planète fut un des plus importants pour l'établissement du système copernicien.

6. — Tournant autour de la planète Jupiter, furent aperçus ses quatre satellites ; Galilée, qui les signala le premier, leur donna le nom de *planètes de Médicis.* Il les vit pour la première fois le 16 janvier 1610, au nombre de trois ; il les prit d'abord pour des fixes ; mais, les jours suivants, il les vit évoluer autour de

Jupiter ; le 14 janvier, il aperçut le quatrième satellite. Il les observa jusqu'au 2 mars ; il put ensuite prédire leur marche jour par jour pour les mois de mars et d'avril 1613.

7. — Enfin notre savant entrevit l'anneau de la planète Saturne, sans parvenir à se rendre compte de ce que c'était. Il envoya à Képler un anagramme signifiant qu'il voyait Saturne « à trois corps ». Puis ces apparences s'évanouirent ; il résume avec émotion cette série d'observations restées pour lui énigmatiques, dans ce passage de la troisième lettre sur « les taches solaires » :

« J'ai déjà écrit comment, il y a environ trois ans, je découvris que Saturne était à trois corps (*tricorporeo)*, c'est-à-dire un agrégat de trois étoiles disposées suivant une ligne droite parallèle à la ligne équinoxiale, l'étoile du milieu étant beaucoup plus grande que les deux latérales ; je crus ces étoiles immobiles », parce qu'elles paraissaient si proches à la première observation que le moindre mouvement devait les faire se toucher. Or elles étaient demeurées sans changement pendant près de deux ans. « Cette année, vers le solstice d'été, j'ai encore revu Saturne « triforme » ; puis, ayant négligé de l'observer pendant plus de deux mois, car je ne doutais plus de sa constance, et l'ayant de nouveau regardé ces jours-ci, je l'ai retrouvé solitaire, sans l'assistance des deux étoiles accoutumées... Que dire d'une si étrange métamorphose ? Les deux étoiles mineures se sont-elles consumées comme les taches solaires ? Ont-elles fui tout d'un coup ? Saturne a-t-il dévoré ses propres enfants ? Ou bien est-elle illusoire, cette apparence par laquelle les verres m'ont trompé, moi avec tant d'autres qui ont souvent fait la même observation ? » L'explication de ces apparences présentées par Saturne, devait être donnée par Huyghens.

III

Le système du Monde.

1. — Ces résultats des observations astronomiques étaient autant d'éléments nouveaux introduits dans le grand problème du système du monde. Pour des esprits libres de préjugés et que l'habitude n'eût point entravés, il eût été possible dès lors de choisir définitivement entre les deux solutions alors connues de ce problème : celle qui dominait dans les écoles avec le péripatétisme, la solution géocentrique de Ptolémée, et celle de Copernic, la solution héliocentrique. Mais la question astronomique se trouvait mêlée à des thèses philosophiques et à des croyances religieuses, où elle s'embarrassa, tandis que des habitudes d'esprit invétérées ôtèrent à beaucoup de personnes la vue nette de la vérité physique. Le génie de Galilée se montra, dans cette circonstance, très libre, très juste et très clairvoyant ; son caractère apparut actif et hardi ; sa dialectique fut vive, abondante, pleine de ressources.

Notre philosophe n'avait d'ailleurs pas attendu l'invention du télescope pour se rallier au système de Copernic. S'étant de bonne heure émancipé de l'autorité d'Aristote, il ne devait pas avoir de peine à rejeter celle de Ptolémée qui était associé au Stagirite dans l'esprit des scolastiques. Dès 1604, une occasion d'attaquer la thèse péripatéticienne de l'inaltérabilité du ciel, lui fut offerte par l'apparition d'une étoile temporaire très brillante, dans le voisinage de Mars et de Jupiter.

En 1572, une autre étoile était apparue, et elle avait donné lieu déjà à de vives discussions. Le ciel selon Aristote, n'étant pas soumis à la génération et à la corruption, comment un astre y pouvait-il naître ? Les scolastiques, dans ces deux cas, essayèrent de soutenir que les astres nouveaux étaient situés au-dessous

de la « sphère élémentaire ». Mais Galilée montre, pour l'étoile de 1604, que la constance de sa position la classait bien parmi les fixes. Les comètes lui fournirent un argument analogue qui se précisa plus tard.

Dès que le télescope lui eut fait découvrir les taches solaires, il renouvela ses attaques contre la doctrine de l'inaltérabilité En vain les défenseurs du péripatétisme essayèrent-ils de la défendre par divers expédients. Le P. Scheiner proposa de voir dans les taches un amas de petites étoiles. Mais elles n'en étaient pas moins variables; on les voyait se former, grandir et diminuer. « Il sera bon, écrit alors Galilée, dans la deuxième lettre sur les taches solaires, que dans l'avenir on prête l'oreille à ces philosophes qui ont jugé de la substance céleste autrement qu'Aristote, et desquels Aristote lui-même ne se serait pas éloigné, s'il avait connu les expériences de notre temps, puisque non seulement il a admis les expériences manifestes comme un des moyens propres à conclure dans les problèmes naturels, mais qu'encore il leur a donné le premier rang. Si donc il donne pour preuve de l'immutabilité du ciel qu'on n'y avait pas constaté d'altération dans les temps jusque-là écoulés, il est bien à croire qu'ayant été témoin de ce qui nous est manifesté, il aurait suivi l'opinion contraire, à laquelle nous sommes appelés par de si admirables découvertes. »

Mais c'est surtout dans son célèbre dialogue *des Deux Systèmes du monde* que notre philosophe expose avec ampleur ses arguments en faveur du système copernicien, répond aux objections et renverse la thèse contraire.

Ce bel ouvrage, divisé en quatre journées, fut publié en 1632, à une époque où la thèse de Copernic avait été condamnée par le Saint-Office. Galilée, il est vrai, ne conclut pas, en son nom propre, en faveur de cette thèse ; mais de toute la discussion, qui est menée avec beaucoup de verve, de loyauté et d'entrain, ressort avec évidence l'énorme supériorité du système héliocentrique.

On trouve dans ce dialogue des idées qui sont devenues pour nous de véritables habitudes, comme étaient certaines thèses d'Aristote pour les scolastiques d'alors;

d'autres qui sont oubliées aujourd'hui, par suite des efforts mêmes de Galilée qui les réfute longuement ; et parfois, comme beaucoup de questions sont remuées, certains aperçus ou problèmes assez originaux, qui donnent du charme au dialogue, et sur lesquels on pourrait encore aujourd'hui méditer ou discuter.

2. — Résumons les principales objections que formaient les péripatéticiens contre la thèse de Copernic, avec les réponses que leur fait Galilée. — Les interlocuteurs du dialogue sont Salviati, Sagredo et Simplicius.

Une des premières objections que rapporte Salviati contre la mobilité de la terre et qu'il attribue à Aristote et à Ptolémée, consiste en ce que tous les objets de la surface terrestre, les pierres, les bêtes, les hommes seraient projetés en l'air, que les édifices et les cités seraient ruinés si le mouvement commençait, ou impossibles à construire, s'il était éternel, cela à cause de la force centrifuge « qui naît dans les mouvements de rotation rapides ». C'est Salviati lui-même qui répond à la question en des termes assez compliqués et à l'aide d'une démonstration géométrique assez longue. Le fond de sa réponse est toutefois simple, et il est ce qu'il doit être : Salviati considère la projection qui se ferait selon la tangente au cercle de rotation, et il explique que la pesanteur, à chaque instant, maintient l'objet sur la terre. La considération de la force centrifuge le long du rayon eût été plus commode ; mais la mécanique d'alors n'en n'avait pas l'idée d'une façon claire.

A la suite de cette discussion, un interlocuteur émet une idée assez singulière. Il suppose un boulet de canon tombant de la concavité de la sphère de la lune, et il imagine que, d'après Copernic, ce boulet viendrait au centre de la terre en suivant la même verticale et, par conséquent, eu égard au mouvement diurne, en décrivant une spirale conique.

Cette remarque ne constitue pas, dans l'esprit de celui qui la présente, une objection formelle contre le système copernicien, mais seulement une objection de tendance : la bizarrerie de la conception doit prévenir l'esprit contre le système. Au point de vue historique,

le passage nous semble intéressant : n'est-ce pas lui qui aurait fourni à Newton l'idée d'une chute à partir de la lune, plutôt que la vue d'un fruit se détachant d'un pommier ? D'ailleurs les interlocuteurs du dialogue galiléen ne paraissent pas convaincus que cette chute aurait lieu ; Salviati dit, d'après Copernic, que la propension des corps à suivre le mouvement de la terre. doit être limitée à quelque surface sphérique.

Une autre grande objection contre la rotation diurne de la terre est tirée de l'expérience commune : nous ne sentons pas ce mouvement. Salviati répond cette fois très simplement que « le mouvement commun à nous-mêmes et aux autres mobiles, est comme s'il n'était pas ». Il illustre cette idée par quelques exemples ; ainsi un vase plein d'eau est porté sur un navire ; si l'on y fait tomber doucement une petite balle de cire, elle tombera au fond du vase, au même point que si le navire ne bougeait pas.

Simplicius insiste et dit que si la terre se mouvait, son mouvement serait cause d'un vent violent et incessant ; car selon Copernic, l'air doit être entraîné avec la terre.

Salviati, sans se troubler de ce qu'il peut y avoir de délicat dans la façon dont se fait cet entraînement, répond que si l'air nous touche toujours par les mêmes parties, nous ne le sentons pas. Simplicius essaie une distinction intéressante, en demandant si notre mouvement, quand nous sommes emportés avec la terre est interne, si la cause en est en nous, ou bien s'il est externe, communiqué par le corps de la terre. Salviati ne s'arrête pas à ce subtil problème, et se contente d'affirmer que, dans les deux cas, nous ne devons pas sentir le mouvement ; il faudrait, pour qu'il devienne sensible que le globe terrestre se heurtât à quelque obstacle.

Un paradoxe, d'apparence un peu grossière aujourd'hui, est proposé par un des interlocuteurs : un boulet de canon lancé vers l'occident devrait aller plus loin que lancé vers l'orient ; parce que, dans le premier cas, le canon, emporté par le globe, marche en sens contraire du boulet. Ptolémée avait déjà dit que, dans

l'hypothèse de la rotation terrestre, les corps projetés, les nuées et les animaux, paraîtraient avoir un mouvement contraire à celui de la terre.

Ces divers opposants n'avaient pas connaissance de l'inertie. Galilée qui en a déjà une notion assez nette, leur répond, par la bouche de Salviati, du mieux qu'il peut.

Vient ensuite un argument de genre tout scolastique dont l'intérêt nous échappe : un corps simple comme la terre ne peut pas se mouvoir de trois mouvements différents ; on ne comprend pas qu'un même principe naturel produise trois mouvements distincts. Plus naïve est l'objection tirée du trouble que le système de Copernic apporte dans l'univers d'Aristote, et de la différence que ce système établit entre des astres, planètes et étoiles fixes, que l'on était habitué à considérer comme d'une égale dignité.

Une autre objection consistait en ce que la lune constituait une anomalie dans le système de Ptolémée, puisqu'elle était seule à tourner autour d'une planète. La découverte des satellites de Jupiter fit tomber cette objection.

Enfin Tycho-Brahé en avait soulevé une contre le mouvement annuel de notre globe : à savoir l'élévation invariable du pôle ; il lui semblait que la position de la polaire eût dû changer tandis que la terre se déplaçait sur son orbite. Galilée explique que, d'après Copernic, l'axe de la terre se déplace parallèlement à lui-même, et que l'extrême éloignement des étoiles fixes rend leurs variations de position par rapport à notre globe à peu près imperceptibles.

A propos de la fixité de l'axe terrestre, une théorie assez curieuse est relatée : celle de Guillaume Gilbert qui considère le globe comme un grand aimant toujours attiré vers un même point du ciel.

Les interlocuteurs du dialogue développent cette théorie avec sympathie. Elle représente l'enfance de doctrines qui se sont fait jour de notre temps, d'après lesquelles les mouvements sidéraux seraient dus à des influences électro-magnétiques.

3. — Telles étaient les objections contre le mouvement de la terre. Les preuves directes de ce mouvement, rapportées dans l'écrit de Galilée, sont les suivantes. On remarquera qu'elles s'appliquent presque toutes au mouvement annuel de la terre autour du soleil. Le mouvement diurne de notre globe sur lui-même n'a reçu de preuve directe que fort tard, par l'expérience du pendule de Foucault ; jusque-là, cette rotation diurne se présentait dans la théorie héliocentrique comme un postulat que tout le reste du système vérifiait. Le moins faible des arguments que l'on pouvait y appliquer d'une façon immédiate était l'argument de simplicité fourni par Képler : Il est plus simple de laisser la sphère des fixes sans mouvement que de la mouvoir entière avec une vitesse immense.

Le système héliocentrique était prouvé d'abord, ainsi que nous l'avons déjà indiqué, pour la planète Vénus par ses phases visibles au télescope, ensuite par les variations de sa grandeur, allant de 1 à 6, qui prouvaient que sa distance à la terre variait beaucoup, contrairement à ce qui aurait lieu dans le système géocentrique. Au reste, comme les planètes Vénus et Mercure s'éloignent peu du soleil, la simple observation de leurs mouvements suffit pour établir qu'elles tournent autour de cet astre.

Galilée applique, un peu par voie de déduction, à Mercure ce qu'il constate au sujet de Vénus, car Mercure est difficile à observer si ce n'est lorsqu'il se trouve à sa plus grande distance du soleil ; le reste du temps, il est si proche de l'astre que l'irradiation empêche d'en apprécier la grandeur.

Pour les trois planètes supérieures, Mars, Jupiter et Saturne, il était visible qu'elles se rapprochaient le plus de la terre lorsqu'elles venaient en opposition avec le soleil, et qu'elles s'en éloignaient le plus dans les conjonctions ; elles ne pouvaient donc pas tourner autour de la terre comme centre.

L'argument de simplicité était aussi considéré comme un argument très fort en faveur de tout l'ensemble du système copernicien. Copernic, tout comme Ptolémée,

observe un des interlocuteurs du dialogue, a cherché à « expliquer les apparences » du monde ; mais il a pensé qu'entre toutes les hypothèses, l'hypothèse vraie les expliquerait le mieux. Il y avait dans le système de Ptolémée des vices graves ; l'idée de quelques pythagoriciens, que le mouvement annuel appartenait à la terre, permettait de remédier à ces vices. Parmi ceux-ci le plus grave était la complication du système : des astres s'y meuvent irrégulièrement autour de quelque autre point ; les planètes vont tantôt dans un sens, tantôt dans l'autre ; elles s'arrêtent et rétrogradent, etc. Le seul mouvement de rotation annuel de la terre permet, dit Salviati, d'expliquer toutes ces apparences complexes, et c'est là à ses yeux le meilleur argument.

Galilée a beaucoup goûté une autre preuve qu'il tirait des taches solaires : les taches, en passant sur la surface de l'astre décrivent un arc de courbe dont la convexité se montre tournée tantôt en haut, tantôt en bas. Cela s'explique facilement si l'on suppose l'axe de rotation du soleil incliné sur l'écliptique, et le soleil vu tantôt d'un côté, tantôt de l'autre, par suite du déplacement de la terre sur son orbite.

Enfin notre philosophe présente un argument faux tiré des marées ; il les croit dues au mouvement propre de notre globe. Toute la quatrième journée de son dialogue est consacrée à cette thèse.

Cet imposant ensemble de preuves que nous venons de résumer n'assura pas encore le triomphe du système copernicien, surtout dans les nations latines. Le péripatétisme se défendit, comme nous allons maintenant le raconter. Le sentiment vulgaire répugna encore longtemps à admettre l'idée d'une terre deux et trois fois mobile ; mais cette sorte de résistance intéresse moins l'histoire des sciences que l'étude de la psychologie populaire. Dans les nations non latines, la théorie copernicienne rencontra moins d'entraves ; et c'est dans une atmosphère très calme que Newton travailla à en compléter l'harmonie par l'introduction du principe de la gravitation.



TROISIÈME PARTIE

I

Le Procès.

1. — Nous devons, après avoir exposé cette grande œuvre, raconter brièvement le trop fameux procès qui attrista les dernières années de la vie de Galilée, et dont le souvenir est demeuré une arme favorite de l'incrédulité contre l'Eglise. Il est doublement pénible de voir persécuter un savant que nous avons appris à admirer et à aimer, et de voir la persécution lui venir d'un côté où il n'aurait dû rencontrer que la sympathie et l'estime. Certes il y a des excuses pour les congrégations romaines qui ont condamné d'abord le système de Copernic, ensuite Galilée comme l'ayant enseigné. Il faut tenir compte du temps qu'exige toute théorie nouvelle pour être généralement admise ; de l'attachement des hommes d'Eglise au péripatétisme, qui avait servi à constituer la langue théologique ; de la crainte que des attaques contre la physique péripatéticienne ne

jetassent le discrédit sur le reste de cette philosophie, et que la théologie n'en fût lésée ; de l'union étroite des sciences d'alors, non encore spécialisées, avec la philosophie et avec la théologie, union qui empêchait de discerner leurs domaines propres ; de la difficulté que l'on avait à comprendre la force des arguments tirés de l'expérience, puisque la science expérimentale était à peine constituée.

A un autre point de vue, il faut excuser certaines duretés par les habitudes de la justice d'alors ; on sait que les procédés de la justice restèrent barbares jusque vers la fin du XVIII[e] siècle. Ce sont bien là des excuses, et d'une valeur véritable ; on aimerait tout de même n'avoir pas à les invoquer... Il est à peine utile de rappeler, d'ailleurs, que la condamnation du système copernicien ne reçut pas la forme dogmatique, et que par conséquent elle ne saurait constituer un argument direct contre la foi.

2. — Les premières relations de Galilée avec Rome avaient été très bonnes : Le savant se rendit à Rome en 1611 ; c'était peu après la publication du *Nunzio Sidereo*. Il voyagea aux frais du Grand-Duc de Toscane, logea à l'ambassade de Florence. Il fut fort bien reçu. Le cardinal Farnèse l'invita dans son magnifique palais de Caprarole ; le marquis Cesi, président de l'Académie des Lincei, donna en son honneur un somptueux festin. Galilée avait emporté avec lui sa lunette ; il faisait voir à ses hôtes les satellites de Jupiter. Le Collège romain ne s'inquiéta pas alors de sa sympathie avouée pour le système de Copernic.

C'est à son retour à Florence que les attaques des péripatéticiens et des théologiens commencèrent à prendre plus de force. Aristote et la Bible furent invoqués contre Copernic. Le miracle de Josué arrêtant le Soleil, et trois autres passages de la Bible (Isaïe, XL, 22, Ecclésiaste, I, 5-6, Psaume X, 5), furent présentés comme contraires à la doctrine de la mobilité de la terre. Galilée répondit à ces rumeurs dans une lettre à son disciple, le Père Benedetto Castelli, du 21 décembre 1613. Cette lettre est un document d'un intérêt majeur.

L'occasion en fut une conversation qu'avait eue le Père Castelli, en présence de la Grande-Duchesse mère, Marie Christine de Lorraine, et de l'archiduchesse Madeleine, au sujet de l'Ecriture Sainte et du miracle de Josué dans leur rapport avec la doctrine de Copernic. Galilée y expose très clairement sa façon de comprendre les autorités respectives de l'Ecriture Sainte et de la science. Il pense bien que l'Ecriture ne peut errer, mais que si elle ne le peut, ceux qui prétendent l'interpréter peuvent errer de diverses manières ; qu'il y a dans l'Ecriture beaucoup d'expressions « choisies de façon à s'accommoder à la faiblesse du vulgaire » ; que, dans les disputes mathématiques, les arguments tirés des Ecritures devraient venir en dernier lieu. Il demande que, « en dehors des articles concernant le salut et l'établissement de la foi, contre la certitude desquels il n'est pas à craindre que jamais puisse s'élever aucune doctrine vraie et efficace » on n'en « ajoute pas d'autres sans nécessité » : — « Je crois, dit-il, que l'autorité des lettres sacrées a pour but de persuader aux hommes les articles et les propositions qui sont nécessaires pour leur salut », qu'aucune science ne peut établir et qui sont proposés à notre foi par la bouche de l'Esprit-Saint ; « mais que ce même Dieu qui nous a doués de sensibilité, de raisonnement et d'intelligence, ait voulu, négligeant l'usage de ces dons, nous donner par un autre moyen les connaissances que nous pouvons obtenir par ceux-là, je ne pense pas qu'il soit nécessaire de le croire ; » surtout, ajoute-t-il, en matière d'astronomie, car l'Ecriture s'occupe si peu de cette science qu'on n'y trouve même pas nommées toutes les planètes.

Quant au miracle de Josué, sa discussion sur ce point particulier est spirituelle, et l'arrangement qu'il propose est fort curieux. Il constate que l'expression d' « arrêter le soleil » ne serait pas exacte dans le système de Ptolémée ; qu'il faudrait arrêter, non pas le soleil, mais la sphère extérieure, le premier mobile, pour prolonger le jour sans troubler tous les mouvements des astres. Au contraire, prétend-il, l'expression

est explicable dans le système de Copernic ; car le soleil a un mouvement de rotation sur lui-même, « et il est probable et raisonnable que cet astre, comme organe majeur de la nature, comme cœur du monde, » ne donne pas seulement la lumière, mais encore le mouvement à toutes les planètes. Il suffirait donc d'arrêter le soleil pour suspendre ce mouvement et prolonger l'illumination diurne, sans que les rapports des planètes entre elles en fussent troublés.

Galilée suppose donc que l'entraînement des planètes a lieu actuellement, du fait du soleil ; il touche ainsi, d'une façon indirecte, à cet obscur problème de la notion des astres, que la science moderne n'a pas encore résolu.

3. — Cependant les attaques des théologiens devinrent plus pressantes ; l'archevêque de Florence, l'évêque de Fiesole, le recteur du l'université de Pise y prirent part. En l'Avent de 1614, un prédicateur se servit, comme d'une invective contre les partisans de Galilée, de cette phrase de l'Evangile : « *Viri Galilæi, quid statis aspicientes in cœlum ?* » Galilée fut expressément dénoncé au Saint-Office.

Inquiet, il se rendit de nouveau à Rome. Il y fut hospitalisé à la villa Médicis, où logeait l'ambassadeur de Toscane ; mais les amis qu'il avait dans la ville ne purent empêcher la condamnation par le Saint-Office de la thèse de la mobilité de la terre ; le 24 février 1616, un décret censura la doctrine de Copernic, en même temps que cette proposition de Galilée, extraite des lettres sur les *Taches solaires,* que « le soleil est centre du monde, et mobile d'un mouvement local ». Le cardinal Bellarmin fit appeler le savant dans son palais, et, en présence d'autres personnages, lui défendit d'enseigner ou de soutenir, par écrit, de vive voix, ou par tout autre moyen, la doctrine copernicienne. Galilée promit d'obéir.

Le 5 mars suivant, la Congrégation de l'Index appliqua le décret du Saint-Office en condamnant les livres de Copernic, de Diego da Stunica et de Foscarini. Les lettres sur les *Taches solaires* ne furent pas condam-

nées, parce que la doctrine incriminée n'y apparaît qu'incidemment. A la suite de ce premier procès, Galilée resta quelque temps à Rome, et fut reçu d'une façon courtoise par le Pape Paul V.

4. — Seize ans plus tard (1632), Galilée publia le dialogue sur *les deux grands systèmes du monde*. Il avait obtenu, non sans difficulté, l'imprimatur de l'inquisiteur et de l'autorité civile ; le livre avait pu être imprimé à Florence. Mais un exemplaire en étant venu aux mains du Pape, celui-ci en fut choqué, et il nomma une commission spéciale pour examiner l'ouvrage. Les commissaires furent d'avis que le livre, quoique rédigé dans une forme impersonnelle, contenait une défense de la thèse de Copernic prise, non comme hypothèse, mais absolument. C'est d'ailleurs aussi l'impression que laisse aujourd'hui sa lecture.

Dès qu'il eut reçu le mémoire de la commission, Urbain VIII fit mander à Galilée par l'inquisiteur de Florence, qu'il eût à comparaître à Rome, devant le commissaire général du Saint-Office.

On était en septembre ; Galilée était appelé pour le mois d'octobre. Le savant, alors âgé et malade, différa. Ses excuses sont touchantes. Il représente à l'inquisiteur « la maturité des années, ses indispositions manifestes, et qu'il est entre les mains des médecins, et beaucoup d'autres choses ». Les médecins le visitent, déclarent que « le pouls est intermittent », que la faculté vitale est affaiblie dans cet âge déclinant, qu'il souffre de vertiges, de faiblesse d'estomac, d'insomnies, de douleurs, qu'une légère cause externe peut mettre sa vie en péril.

Galilée comparut pourtant. Arrivé à Rome en 1633, il fut interné d'abord à l'ambassade de Toscane, et interrogé une première fois, puis gardé dans le palais du Saint-Office et interrogé de nouveau. Après ce second interrogatoire, il fut ramené à l'ambassade. Ses réponses ne sont guère que des actes de soumission ; toutefois le Saint-Office n'étant pas encore satisfait, un décret fut rendu portant ordre de l'examiner « sur l'intention », « avec menace de torture », faculté

d'appliquer la torture s'il pouvait la supporter, réclamant en outre l'abjuration, et donnant aux juges pouvoir de l'enfermer dans telle prison qu'ils choisiraient. Le Saint-Office se montra doux relativement à ces formules qui étaient conformes aux usages de ce temps. La torture ne fut pas appliquée. L'accusé répondit aux menaces : « Je suis ici pour obéir et je n'ai pas soutenu cette opinion (celle de Copernic) depuis l'avertissement qui m'a été adressé, ainsi que je l'ai déjà dit » ; après quoi il fut ramené à sa résidence. Le lendemain de l'examen, 22 juin, il signa l'abjuration. Des copies de cet acte et de la sentence furent envoyés aux nonces et aux inquisiteurs. On voit au musée de Torre del Gallo l'original de la lettre par laquelle l'inquisiteur de Florence communique la sentence à l'archevêque.

On assigna pour séjour à Galilée la ville de Sienne ; il supplia le pape de lui donner un autre lieu de relégation en Toscane. On lui concéda « l'habitation dans sa campagne », c'est-à-dire à Arcetri, « à condition toutefois qu'il y vivrait dans la solitude ». Des ordres postérieurs lui permirent de recevoir diverses personnes notamment le Père Castelli, mais à condition de ne pas parler du mouvement de la terre. Une lettre très dure de l'inquisiteur le représente alors (1638) comme « tout à fait aveugle et ayant plutôt la tête près du tombeau que l'esprit porté aux mathématiques ». Il travailla néanmoins presque jusqu'à sa mort, aidé de quelques disciples. Il ajouta deux dialogues aux quatre qui ont pour objet les sciences nouvelles, l'un traitant de géométrie et de proportions, l'autre de la force de la percussion, et il s'occupa de problèmes relatifs à la navigation. Une grande consolation lui vint d'ailleurs de la présence de sa fille Marie-Céleste, religieuse clarisse dans un couvent voisin.

On demandera quelle paraît avoir été la psychologie de Galilée dans ses douloureuses circonstances. Il faut reconnaître tout d'abord qu'il fut hardi et combattif ; la publication du *Dialogue* après la condamnation de la thèse, était un acte de témérité. Galilée n'aimait pas seulement

la vérité pour elle-même ; il aimait aussi la proclamer, la défendre et l'enseigner. Mais la polémique dont il avait le goût était purement intellectuelle. Mis en présence de juges qui ne parlaient qu'au nom d'une autorité supra-sensible, et qui le menaçaient de châtiments physiques, il cessa de discuter et dit à peu près ce que l'on voulut. Il ne fut plus ni savant ni philosophe ; moins encore essaya-t-il d'exercer une action subversive en théologie ou en politique. Il n'y a rien en lui d'un révolté, non plus que d'un révolutionnaire ; il ne méprise pas les autorités établies, religieuses ou civiles ; il les reconnaît, et il a l'intention vraie de leur être soumis ; mais il s'étonne qu'en échange de cette obéissance, ces autorités ne lui garantissent pas la pleine liberté du travail scientifique.

Comme nous l'avons dit, Galilée distinguait la science et la théologie ; ses juges les distinguaient assez mal. Il est impossible de croire que son abjuration ait été sincère, puisque ses opinions astronomiques étaient fondées sur des considérations d'ordre purement expérimental et scientifique, et qu'aucune objection du même ordre ne leur fut opposée.

Devons-nous alors dire que son attitude a été faible, qu'on doit regretter pour sa gloire qu'il n'ait pas expressément affirmé sa croyance et accepté des peines plus sévères. La question est délicate, et elle peut être discutée ; mais nous ne croyons pas qu'il soit bien rationnel de blâmer Galilée. La soumission, si l'on admet qu'elle ne fut qu'extérieure, était un acte de discipline sociale qu'on peut louer. La science d'ailleurs n'est pas un de ces sentiments intimes, comme l'honneur ou la foi religieuse, qui vivent au dedans de l'âme, d'une façon subjective, qui demandent à se manifester par le dévouement, et pour lesquels l'acceptation des souffrances constitue une preuve. La science est au contraire fondée sur des arguments objectifs, existant au dehors, et la croyance propre du savant en la valeur de ces arguments, n'ajoute presque rien à leur force. On se dévoue à la science au moment de la recherche ; on supporte des fatigues, on court des dangers pour trouver

des documents et établir des preuves ; mais une fois ces résultats acquis, ils subsistent et se répandent par eux-mêmes ; et c'est pourquoi la science ne porte pas au martyre, et pourquoi l'on peut dire qu'elle n'a pas besoin de martyrs.

II

La Philosophie.

1. — Galilée fut un physicien ; on ne le voit guère occupé de philosophie au sens spécial du mot, je veux dire plus précisément de métaphysique. En ce sens il ne s'occupa de la philosophie que pour s'en affranchir. Mais dans toutes ses recherches sur la nature, il philosopha ; il chercha à expliquer, à rendre compte des choses, à concevoir les idées, à préparer les notions, à choisir les hypothèses, à discerner les rapports, à organiser les méthodes au moyen desquels devait se constituer la science. Dans cette sorte de philosophie, qui est le travail de déblaiement préparatoire à la science, il excella. On peut même dire qu'il eut beaucoup de goût pour ces débats de l'esprit avec lui-même ou avec des adversaires réels, en face des inconnues de la nature ; car, dans plusieurs cas, ayant obtenu des résultats positifs, il conserva dans ses œuvres ces discussions préliminaires, qu'il eût aussi bien pu effacer, et il les relata dans des dialogues qui sont un peu longs au point de vue strictement technique, mais qui, montrant tout ce travail de l'esprit, sont des documents très précieux de psychologie scientifique.

Les principales questions sur lesquelles Galilée ratiocina ainsi, nous les avons notées : il discuta beaucoup sur le mouvement, pour combattre les idées péripatéticiennes,

sur le ciel, dans la même intention, sur les questions d'infinitude, dont il enrichit l'analyse, sur la constitution de la matière, point sur lequel notre science elle-même n'est pas encore sortie de la période de préparation philosophique. Au sujet de la finitude du monde, notons encore de notre philosophe cette belle pensée : Personne, fait-il dire à Salviati dans le Dialogue du système du monde, ne sait si le monde est fini ou infini ; les démonstrations d'Aristote pour la finitude s'évanouissent, du moment que le monde n'est pas mobile.

2. — On a parfois présenté Galilée, suivant le mot de Lagrange, comme « le vrai et unique fondateur de la philosophie expérimentale ». Le terme « unique » est de trop ; car il faut laisser à Bacon sa juste part de gloire, pour avoir recommandé la méthode expérimentale d'une façon plus systématique que Galilée, qui la recommanda surtout par l'exemple. Quant au titre de « fondateur », notre savant ne l'aurait pas revendiqué. Il savait en effet fort bien qu'il existait avant lui des expériences dans la science ; il y en avait une grande quantité dans l'art des ingénieurs et des architectes ; il est impossible de dénier aux recherches des alchimistes le nom d'expériences, et les astronomes avaient fait des observations que Galilée ne songea pas à dédaigner. Néanmoins le nombre des expériences ou des observations bien faites était encore relativement restreint ; et surtout il y avait alors beaucoup trop de savants qui négligeaient l'observation, n'en sentaient pas l'importance, et lui substituaient volontiers le raisonnement *à priori*. Notre philosophe réagit avec force contre cet abus ; lui-même d'ailleurs ne systématisa pas sa propre méthode ; il la laissa très libre, jugeant évidemment qu'elle devait garder une très grande souplesse, pour s'adapter à l'infinie variété des problèmes naturels. Il ne recommande en somme, et moins par la parole que par la pratique, que l'attention, le soin, et bien aussi le bon sens.

Voici un exemple assez amusant où l'on voit comment il critique une expérience : Lottario Sarsi, auteur d'un ouvrage intitulé *Libra astronomica et philoso-*

phvca, auquel répond le *Saggiatore* de Galilée, avait rapporté ce fait tiré de l'historien Suidas : que les anciens Babyloniens savaient faire cuire les œufs en les plaçant dans des frondes et en les faisant tourner très vite. Les philosophes discutaient sur cette donnée. Galilée leur répond : « Je ne puis pas ne pas m'étonner de nouveau que Sarsi persiste à vouloir nous prouver par voie de témoignage, ce que nous pouvons à tout moment connaître par voie d'expérience. On examine les témoignages dans les choses douteuses, passées et non permanentes, comme pour rechercher les circonstances d'un meurtre, mais non pas dans celles qui existent en fait et qui sont présentes. » Sur cette question de la valeur des témoignages, Galilée observe encore ceci, qu'il ne fait guère plus de cas de beaucoup de témoins que de peu, parce que « dans les choses difficiles, le nombre des gens qui raisonnent bien est moindre que celui des gens qui raisonnent mal. » Si discourir dans les matières difficiles était comme de porter un poids, de même que plusieurs chevaux portent plus de sacs de grains qu'un seul, de même plusieurs discoureurs vaudraient mieux qu'un ; « mais discourir est comme courir, et un cheval barbe seul courra mieux que cent chevaux frisons ».

3. — Sur quels principes fondamentaux s'appuie Galilée dans l'interprétation de l'expérience ? Il n'y en a guère qu'un seul qui soit explicitement invoqué par lui : c'est celui de la simplicité de la nature. C'est, dit-il dans le *Dialogue des systèmes*, un principe admis par tout le monde « que la nature ne multiplie pas les choses sans nécessité, qu'elle se sert des moyens les plus faciles et les plus simples pour produire ses effets ; qu'elle ne fait rien en vain... » Et au commencement du *Dialogue sur les deux sciences nouvelles,* il énonce le même axiome en y ajoutant un exemple qui se trouve n'être pas fort heureux : dans l'investigation du mouvement accéléré, explique-t-il, nous avons été conduit, comme par la main, par la considération de l'habitude et du procédé de la nature même en toutes ses œuvres, qu'elle a coutume d'accomplir par des moyens primi-

tifs, simples et faciles : il n'y a personne, je pense, qui croie que l'on puisse nager ou voler par un moyen plus simple et plus facile que celui dont se servent les poissons et les oiseaux d'après leur instinct naturel.

C'est ce principe de la simplicité qui décide, en astronomie, en faveur du système héliocentrique. L'explication la plus simple est un minimum où l'esprit trouve le repos, de même qu'en mécanique un corps trouve son état d'équilibre lorsqu'une certaine fonction passe par un minimum.

Au principe de simplicité en est joint cependant un autre que l'on pourrait appeler le principe de précision ou de mensurabilité : les choses de la nature peuvent être mesurées et l'être exactement ; elles peuvent être exprimées au moyen des nombres et de la géométrie. Cette croyance est répandue dans toute l'œuvre de Galilée ; c'est sous cet aspect qu'apparaît chez lui l'idée de ce que nous appelons aujourd'hui les lois de la nature. Ce point de vue est manifeste, par exemple, dans ses recherches sur le mouvement de chute des corps : les corps tombent d'un mouvement accéléré ; mais on doit pouvoir décrire cette accélération d'une façon précise, c'est-à-dire qu'elle doit avoir une certaine forme géométrique. Galilée aime la géométrie ; et il adhère au sentiment de Platon « qui n'admit à philosopher que ceux qui connaissaient parfaitement la géométrie ». Chez ce grand esprit, le raisonnement philosophique, l'expérience et les mathématiques marchent de pair ; l'idée simple explique le fait, et le nombre le mesure. Il va de soi d'ailleurs que, à ses yeux, les formes géométriques ont une valeur objective. La nature, dit-il en plusieurs endroits, est construite avant l'esprit humain ; elle est posée en dehors de notre intelligence, qui cherche seulement à en comprendre la structure et à en pénétrer les secrets. Il ne faut pas croire, remarque Sagredo *(Dialogue des systèmes)* que la nature a d'abord construit le cerveau de l'homme et tout disposé ensuite à la mesure de son esprit ; bien plutôt, elle a d'abord arrangé les choses à son gré, après quoi elle a donné à l'homme une intelligence qui,

encore, ne saisit qu'une partie de ses secrets, et avec beaucoup de peine.

4. — Tout le monde sait et nous avons déjà indiqué que l'un des grands mérites de Galilée en philosophie naturelle est, en même temps qu'il développait le sentiment de la méthode expérimentale, d'avoir affaibli l'argument d'autorité. Un seul exemple suffira pour rappeler ce service bien connu : il se trouve dans le discours des choses qui flottent sur l'eau. Francesco Buonamico avait contesté la doctrine d'Archimède et sa première raison était qu'Archimède se trouvait en désaccord avec Aristote. Galilée répond avec beaucoup de bon sens « que le simple fait que la doctrine d'Archimède est contraire à celle d'Aristote ne doit porter personne à la tenir pour suspecte ; parce qu'il n'y a aucune raison pour laquelle l'autorité de celui-ci doive être préférée à l'autorité de celui-là » ; que d'ailleurs, du moment que les décrets de la nature sont indifféremment exposés à tous les yeux, l'autorité de l'un comme de l'autre perd aujourd'hui tout droit à persuader, et qu'en définitive « la puissance absolue reste à la raison ».

5. — Mais cette indépendance d'esprit de notre philosophe en matière scientifique ne lui a pas fait méconnaître la nécessité de l'autorité en d'autres matières, notamment en politique et en religion ; nous l'avons vu dans la précédente section. De même son goût pour la nature ne lui en a pas fait oublier l'éternel auteur.

Nous croyons ne pouvoir mieux attester l'élévation de sa philosophie et la sincérité de son spiritualisme, qu'en résumant les remarquables réflexions qu'il consacre dans le dialogue *des deux systèmes* à l'intelligence humaine.

Il admire l'esprit humain, mais il l'humilie devant l'immensité de la nature et devant l'intelligence de Dieu : « Ceux-là m'ont toujours paru téméraires qui mesurent à la capacité de l'intelligence humaine, la puissance et la sagesse de la nature ; car il n'y a pas dans la nature de chose, si minime soit-elle, à la connaissance parfaite de laquelle les génies les plus

subtils puissent parvenir. » Certains hommes sont versés dans l'agriculture ; mais comment la nature nourrit la vigne, produisant d'un côté des pampres, de l'autre formant des tendrons, des grappes, des pépins, des écorces, cela nul ne le sait ; et ce n'est là qu'une œuvre particulière de la nature ; « d'où l'on peut conclure que la sagesse divine est infinie une infinité de fois ».

Puis il exalte les grands artistes et les grands artisans, les Michel-Ange, les Raphaël, les Titien ; que sont pourtant leurs imitations à côté des corps vivants ? Qu'est le pigeon volant d'Archytas à côté du pigeon vrai ? L'homme a fait des inventions merveilleuses, et les plus méritoires sont sans doute les plus primitives ; la plus extraordinaire est l'art d'écrire, « de communiquer, à travers de très longs intervalles de temps et de lieux, ses pensées les plus intimes à n'importe quel autre homme ».

L'intelligence humaine, dit-il encore, est faible « extensivement » ; elle ne saisit qu'un petit nombre des intelligibles, dont la multitude est sans limite ; elle ne parvient pas d'ailleurs à comprendre les nombres énormes et les grandeurs démesurées ; elle est impuissante devant l'infini. « Intensivement », au contraire, elle peut être parfaite. Parmi les vérités qu'elle saisit, il en est, comme les vérités mathématiques, dont elle a une connaissance telle « qu'on ne la croirait pas inférieure à la connaissance divine, quant à la certitude objective. » Mais Dieu connaît des propositions innombrables directement, « par la simple appréhension de son essence », au lieu que l'homme n'en connaît quelques-unes que par voie objective. Il y a donc un abîme, et quant à la manière de connaître et quant à la multitude des choses connues, entre notre intellect et l'intellect divin. Il ne faut pourtant pas mépriser absolument l'intelligence humaine, qui a compris, recherché ou imaginé tant de choses admirables : « elle est une œuvre de Dieu, et une œuvre très excellente ».

Toute la vie de Galilée lui-même est la meilleure illustration de cette belle pensée.

NOTES

Biographie et Bibliographie. — Outre les deux vies de VIVIANI et de GHERARDINI, il y a des vies de Galilée par DRINKWATER, Londres, 1829 ; par NELLI, *Vita e commercio letterario di Galileo Galilei,* Lausanne, 1793 ; une biographie par ARAGO, une autre par le vicomte de FALLOUX, dans le *Correspondant,* 1847. Pour la première partie de la vie de Galilée, V. surtout ANTONIO FAVARO, *Galileo Galilei e lo studio di Padova,* 2 volumes, Firenze, 1883.

Les éditions générales des œuvres de Galilée, autres que l'édition nationale, publiée depuis 1890, sous la direction de M. FAVARO, sont celles de Bologne, 1656, en 2 forts volumes ; de Padoue, 1744, en 4 volumes ; de Milan, 1808-1811, en 13 volumes ; de Florence, 1842-1856, en 16 volumes.

I, I. Voyez sur l'œuvre mécanique de Galilée, P. DUHEM, *les Origines de la Statique,* 2 volumes, 1905-1906. M. Duhem (I, p. 261) juge que, sur certains points, Galilée ne s'était pas encore dégagé des idées péripatéticiennes : « Jamais Galilée n'a cessé de croire à l'axiome péripatéticien qui proclamait la proportionnalité entre la force et la vitesse. » Selon le même auteur, la statique de Galilée est en retard, sur plusieurs questions, par rapport à celle du « précurseur de Léonard de Vinci ». Lagrange loue l'œuvre mécanique de Galilée et, en particulier, sa notion du « moment », dans la première section de sa *Mécanique analytique.* — Le concept de masse, avons-nous dit, n'est pas encore dégagé chez Galilée ; on trouve pourtant chez lui l'idée de « quantité de matière » ; témoin cette phrase de sa mécanique : La gravité « est la propension des corps à se mouvoir en bas, causée par la plus ou moins grande quantité de matière *(copia di materia)* qui les constitue. »

I, II. M. Ernst MACH, dans son ouvrage *La Mécanique,*

exposé historique et critique de son développement, Paris, 1904 (p. 482 et suiv.), explique d'une façon assez originale la formation du concept d'inertie chez Galilée. — Voir aussi C. Newmann, *die Principien der Galilei-Newton'schen Theorie,* Leipzig, 1870.

I, III. Sur la lampe de Pise, V. le *Magasin pittoresque,* 1873, p. 284. — Sur l'invention du *Thermoscope,* V. Favaro, *Gal. e lo studio di Padova,* I, chap. VIII. — Sur le système métrique de Burattini, V. *Annales internationales d'histoire,* Congrès de Paris, 1900, *Mémoire de M. Favaro.*

I, IV. La manière dont Galilée a traité de la résistance des solides a été critiquée par le mécanicien français de La Hire. Ce savant dit dans son *Traité de Mécanique,* 1729, p. 319, que Galilée a expliqué la résistance des solides en considérant toutes les particules des corps comme unies par des liens qui résistent ensemble à l'effort et « qui ne sauraient prêter » ; que M. Mariotte admet que « ces liens peuvent prêter ou s'allonger jusqu'à un certain point avant que de se rompre », et que cette supposition correspond mieux que celle de Galilée à l'expérience.

Au sujet de la pesanteur de l'air et de l'expérience du Puy-de-Dôme, sur les travaux qui ont précédé cette expérience, et sur la question agitée en ces derniers temps, de savoir à qui en revient l'idée, V. Duhem, *Le P. Marin Mersenne et la pesanteur de l'air, Revue Générale des Sciences,* 1906.

Galilée s'est aussi occupé en physique de l'aimant (cf. p. 45), et de la théorie des sons musicaux, dans le premier dialogue *sur les deux sciences nouvelles.*

I, V. — Il y a de nombreuses considérations sur l'infinitude dans les dialogues du *système du monde.* Galilée, en quittant Padoue projetait d'écrire un traité *de compositione continui ;* Libri (*Journal des Savants,* 1840) a pensé que c'était un essai sur la théorie des indivisibles. — Le P. Bonaventura Cavalieri, dont les travaux sur les indivisibles sont si importants, fut un ami de Galilée (V. notre *Leibniz,* p. 5 et 6).

II, I. — Pour l'invention de la lunette, V. Favaro, *Gal. e lo studio di Padova,* I, chap. XI.

II, II. — V. Jean Mascart, *la Découverte de l'anneau de Saturne par Huygens* (*Revue du mois,* 1906). — L'étoile temporaire de 1572 a été l'objet d'un long mémoire de Tycho-Brahé.

II, III. — Pour les opinions des Pythagoriciens, V. Paul

TANNERY, *Recherches sur l'histoire de l'astronomie ancienne*, Paris, 1893. — Képler tint Galilée en haute estime, et cette estime fut réciproque. Des lettres de Galilée à Julien de Médicis, datées de 1610 et 1611, dans lesquelles il fait part de ses découvertes sur Saturne et sur Vénus, sont citées par Képler dans la préface de sa *Dioptrique*.

III, I. — La bibliographie du procès de Galilée est considérable. Les documents du procès ont été publiés par Berti, en 1876 : *Il processo originale di Galileo Galilei, pubblicato per la prima volta*, da Domenico BERTI, Roma. Cet ouvrage a été analysé dans la *Revue des Deux Mondes* par M. Mézières (Cf. *Magasin Pittoresque*, 1877, article où se trouve une gravure représentant le tombeau de Galilée). — M. Gaston Sortais a, dans la présente collection, consacré une étude spéciale au *Procès de Galilée*, Bloud, n° 371. — Le mot célèbre *e pure si muove* ne paraît pas historique.

III, II. — Sur la philosophie de Galilée, V. l'article de Th.-H. Martin dans le *Dictionnaire des sciences philosophiques* de Franck. Je ne sais pourquoi cet auteur donne beaucoup d'importance aux causes finales dans la philosophie de Galilée. — V. aussi des études de Berti.

TABLE DES MATIÈRES

480-08. — Imp. des Orph.-Appr., F. Blétit, 40, rue La Fontaine, Paris.

